ing. Ion Şereş
INJECTAREA MATERIALELOR TERMOPLASTICE
ISBN: 973-97652-6-2

Tehnoredactare computerizată : ing. Dan Popuş
Copertă: designer Dorel Găină

Tiparul executat sub cda nr. 281/1996
la Imprimeria de Vest, R.A., Oradea,
str. Mareşal Ion Antonescu nr. 105
România

ing. Ion Şereş

INJECTAREA MATERIALELOR TERMOPLASTICE

EDITURA IMPRIMERIEI DE VEST
ORADEA

THERMOPLASTICS MOULD - INJECTION

The utilizations of thermoplastics mould-injected parts constantly increase, no matter the field of activity.

This book tries to present as a single whole all the important themes conected with thermoplastics mould-injection. It treats of many subjects: thermoplastic materials, mould--injection technology, mould-injection machines, special methods of mould-injection, mould--injected parts, moulds for mould-injection, mould-injection process automation and additional operations to which mould-injected parts are submitted.

The book is based both on the 22 years of experience of the author who worked as a technologist, a designer and a manager in the field of thermoplastics mould-injection, and on the studying of a large bibliography published by specialists all over the world.

This book is destined to thermoplastics mould-injection professionals, to students and engineers who are just begening to study this fascinating field, as well as to all the people who are simply using the mould-injected parts.

The author

CONTENTS

1. Thermoplastic materials.
2. Mould-injection technology.
3. Mould-injection machines.
4. Special methods of mould-injection.
5. Mould-injected parts.
6. Mould-injection moulds.
7. Mould-injection process automation.
8. Additional operations to wich mould-injection parts are submitted.
9. Useful data.

SPRITZGIEßEN VON THERMOPLASTEN

Immer öfter begegnen wir, aus thermoplastischen Kunststoffen gespritzten Teilen, in allen Tätigkeitsbereichen.

Das in dem vorliegenden Werk dargestellte Material, verscucht alle wichtigen Themen des Spritzgießens thermoplastischer Kunststoffe, in einer einheitlichen Form, darzustellen. Das Buch behandelt ausführlich mehrere Themen: Thermoplastische Kunststoffe, Das Spritzgußverfahren, Spritzgießmaschinen, Besondere Spritzgußmethoden, Spritzgußteile, Spritzgießwerkzeuge, Die Automatisierung des Spritzgießverfahren sowie Zusätzliche Bearbeitungen der Spritzgußteile.

Das Buch stützt sich auf die 22-järige Erfahrung des Autors, als Verfahrenstechniker, Entwerfer aund Manager, im Bereich des Spritzgießens der thermoplastischen Kunststoffe, sowie auf eine breite Bibliographie, welche in der Fachliteratur, erschienen ist.

Das Werk wendet sich an Fachleute aus dem Bereich des Spritzgießens der thermoplastischen Kunststoffe, an Studenten und Ingenieure, welche das Studium dieses Bereiches beginnen, sowie an jene, die Spritzgußteile verwenden

Der Autor

INHALTSVERZEICHNIS

1. Thermoplastische Formmassen.
2. Spritzgießverfahren.
3. Spritzgießmaschienen.
4. Spezielle Spritzgießverfahren.
5. Spritzgußteile.
6. Spritzgießwerkzeuge.
7. Die Automatisierung des Spritzgießverfahrens.
8. Zusätzliche Bearbeitung von Spritzgußteilen.
9. Nützliche Daten.

PREFAŢĂ

Produsele injectate din materiale termoplastice se întâlnesc din ce în ce mai mult în toate domeniile de activitate.

S-au scris puţine cărţi în limba română care să trateze prelucrarea materialelor plastice şi foarte puţine care să aibă ca subiect materialele termoplastice.

Materialul prezentat în această carte încearcă să prezinte într-o formă unitară toate temele importante legate de injectarea termoplastelor: noţiuni despre materiale, tehnologie, maşini, matriţe, piese şi operaţii aplicate pieselor injectate.

Lucrarea are la bază experienţa de 22 de ani a autorului ca tehnolog, proiectant şi manager în domeniul injectării materialelor termoplastice, precum şi consultarea unei bibliografii ample apărută în literatura de specialitate.

Această carte se doreşte o lucrare pentru inginerii specialişti, care oferă pe lângă noţiuni teoretice specifice domeniului şi o mulţime de date (relaţii, tabele, nomograme) cu aplicabilitate directă în practică. Exemplele constructive prezentate în lucrare sunt dintre cele mai caracteristice, servind atât la înţelegerea principiilor de funcţionare cât şi ca soluţii în proiectare.

Cartea se adresează de asemenea tuturor acelora care doresc să se specializeze şi să se perfecţioneze în acest domeniu: studenţilor, inginerilor stagiari, inginerilor tehnologi, precum şi utilizatorilor de piese injectate.

Cartea nu doreşte şi nu poate face o tratare exhaustivă a domeniului, dar punând bazele tratării ştiinţifice a injectării materialelor termoplastice în general incită la tratarea amănunţită în alte lucrări viitoare a subdomeniilor cărţii (matriţe, maşini, piese, automatizare în injectare, etc.).

Doresc să mulţumesc pe această cale atelierului de proiectare al societăţii PLASTOR pentru ajutorul acordat în întocmirea desenelor, ing. Dan Popuş care prin tehnoredactarea computerizată a dat ţinută lucrării, precum şi firmelor care prin sponsorizarea acordată au făcut posibilă apariţia acestei lucrări.

Autorul

CUPRINS

Prefață

1. Materiale termoplastice 1
1.1. Caracterizare generală 1
1.2. Proprietăți fizice 4
1.2.1. Proprietățile fizice ale materialelor termoplastice granulare sau pulverulente (medii discontinue) 4
1.2.1.1. Fracția de goluri 4
1.2.1.2. Transmiterea presiunii 5
1.2.1.3. Coeficientul de frecare externă 5
1.2.1.4. Comportarea reologică 5
1.2.2. Proprietățile fizice ale materialelor termoplastice (medii continue) 6
1.2.2.1. Proprietăți mecanice 6
1.2.2.1.1. Solicitarea de scurtă durată 6
1.2.2.1.2. Solicitarea de lungă durată 7
1.2.2.1.3. Solicitarea la oboseală 8
1.2.2.1.4. Influența regimului de prelucrare asupra caracteristicilor mecanice 9
1.2.2.1.5. Tratamentul termic 9
1.2.2.2. Proprietăți tribologice 10
1.2.2.3. Proprietăți termodinamice 12
1.2.2.3.1. Variația volumului specific și a densității în funcție de temperatură 12
1.2.2.3.2. Coeficientul de dilatare liniară 14
1.2.2.3.3. Căldura specifică 14
1.2.2.3.4. Entalpia 15
1.2.2.3.5. Conductivitatea termică 15
1.2.2.3.6. Difuzivitatea termică 16
1.2.2.3.7. Ecuații de stare termodinamică 16
1.2.2.4. Proprietăți reologice 16
1.2.2.4.1. Corpuri cu comportare ideală 17
1.2.2.4.2. Fluide vâscoase nenewtoniene 18
1.2.2.4.3. Corpuri cu proprietăți multiple 19
1.2.2.4.4. Corpuri vâscoplastice 19
1.2.2.4.5. Corpuri vâscoelastice 19
1.2.2.4.6. Comportarea reologică a topiturilor de polimeri 20
1.2.2.5. Proprietăți electrice și optice 22
1.2.2.5.1. Proprietăți electrice 22
1.2.2.5.2. Proprietăți optice 25
1.3. Degradarea materialelor termoplastice 26
1.3.1. Degradarea sub acțiunea căldurii 27
1.3.2. Degradarea sub acțiunea agenților chimici 28
1.3.3. Degradarea la lumină 29
1.3.4. Degradarea la foc 29
1.3.5. Degradarea la radiații cu energie mare 30
1.3.6. Degradarea biologică 31
1.3.7. Degradarea sub acțiunea mediului înconjurător 31
1.3.7.1. Degradarea în atmosferă 31
1.3.7.2. Degradarea în mediu climatic 32
1.4. Acțiunea fiziologică 32
1.4.1. Toxicitatea produselor degajate la injectarea materialelor termoplastice 33
1.4.2. Toxicitatea produselor degajate la ardere 34
1.4.3. Acțiunea fiziologică a produselor injectate 34
1.5. Materiale auxiliare 35

1.5.1. Plastifianți 35
1.5.2. Stabilizatori 36
1.5.3. Materiale de umplutură 37
1.5.4. Materiale de ranforsare 38
1.5.5. Lubrifianți 38
1.5.6. Agenți antistatici 39
1.5.7. Agenți de ignifugare 40
1.5.8. Agenți fungistatici 40
1.5.9. Agenți de expandare 40
1.5.10. Agenți de odorizare 41
1.5.11. Agenți de demulare 41
1.6. Materiale termoplastice pentru injectare 41
1.6.1. Alegerea materialului 41
1.6.2. Tipuri de materiale 43
1.6.2.1. Materiale termoplastice celulozice 43
1.6.2.1.1. Acetat de celuloză (CA) 43
1.6.2.1.2. Acetobutirat de celuloză (CAB) 44
1.6.2.1.3. Etilceluloză (EC) 46
1.6.2.2. Polistiren și compuși ai polistirenului 46
1.6.2.2.1. Polistiren de uz general (PS) 47
1.6.2.2.2. Polistiren rezistent la șoc (PAS) 48
1.6.2.2.3. Copolimer stiren-acrilonitril (SAN) 50
1.6.2.2.4. Copolimer acrilonitril-butadien-stiren (ABS) 51
1.6.2.3. Poliamide (PA) 53
1.6.2.3.1. Poliamida 6 (PA 6) și poliamida 66 (PA 66) 53
1.6.2.3.2. Alte polamide 54
1.6.2.4. Poliolefine 54
1.6.2.4.1. Polietilenă (PE) 55
1.6.2.4.1.1. Polietilenă de joasă densitate (PEJD) 56
1.6.2.4.1.2. Polietilenă de înaltă densitate (PEID) 57
1.6.2.4.2. Polipropilenă (PP) 58
1.6.2.5. Polimetacrilat de metil (PMMA) 60
1.6.2.6. Poliacetal. Polioximetilen (POM) 61
1.6.2.7. Policarbonat (PC) 63
1.6.2.8. Policlorură de vinil și polimeri vinilici 65
1.6.2.8.1. Policlorură de vinil rigidă (PVC-D) 65
1.6.2.8.2. Policlorură de vinil plastifiată (PVC-M) 67
1.6.2.8.3. Policlorură de vinil clorurată (PVC-C) 67
1.6.2.8.4. Alți polimeri vinilici 68
1.6.2.9. Polimeri florurați 69
1.6.2.9.1. Politetrafluoretilenă (PTFE) 70
1.6.2.9.2. Policlortrifluoretilenă (PCTFE) 71
1.6.2.9.3. Polifluorură de viniliden (PVDF) 71
1.6.2.9.4. Polifluorură de vinil (PVF) 72
1.6.2.10. Poliesteri termoplastici 72
1.6.2.10.1. Polietilentereftalat (PET) 73
1.6.2.10.2. Polibutilentereftalat (PBT) 74
1.6.2.10.3. Polimetilentereftalat (PMT) 75
1.6.2.11. Polifenileni 76
1.6.2.11.1. Polifenilenoxid (PPO) 76
1.6.2.11.2. Polifenilensulfura (PPS) 77
1.6.2.12. Polisufone 78
1.6.2.12.1. Polisulfona (PSU) 78
1.6.2.12.2. Polietersulfona (PES) 78

1.6.2.12.3. Poliarilsulfona (PALS) 79
1.6.2.13. Polieter clorurat (PEC) 79
1.6.2.14. Poliuretan termoplastic (PUR) 80
1.7. Amestecuri de polimeri şi materiale termoplastice armate 81
1.7.1. Amestecuri de polimeri 81
1.7.1.1. Amestecuri pe bază de polipropilenă 82
1.7.1.2. Amestecuri pe bază de poliamidă 82
1.7.1.3. Amestecuri pe bază de policarbonat 82
1.7.1.4. Amestecuri pe bază de polietilentereftalat şi polibutilentereftalat 82
1.7.2. Materiale termoplastice armate 83
1.7.2.1. Poliamide armate 83
1.7.2.2. Alte materiale armate 84
1.8. Materiale termoplastice noi cu proprietăţi speciale 85
1.8.1. Polimeri pe bază de cristale lichide 85
1.8.2. Polimeri cu memoria formei 88
1.8.3. Alte tipuri de polimeri 89
Bibliografie 89
2. Tehnologia injectării 92
2.1. Principiul injectării 92
2.2. Trepte de proces 92
2.2.1. Condiţiile de formare 94
2.2.2. Plastifierea 96
2.2.2.1. Definirea treptei de proces „plastifiere" 97
2.2.2.2. Sistem de mărimi 97
2.2.2.3. Diagrama de plastifiere 99
2.2.2.4. Efecte asupra plastifierii 101
2.2.2.5. Alegerea punctelor de lucru 101
2.2.3. Umplerea matriţei 101
2.2.3.1. Definirea treptei de proces „umplere matriţă" 103
2.2.3.2. Sistem de mărimi 103
2.2.3.3. Diagrama de umplere 105
2.2.3.4. Efecte asupra umplerii matriţei 106
2.2.3.5. Alegerea punctelor de lucru 107
2.2.4. Compactizarea 107
2.2.4.1 Tranziţia umplere matriţă - compactizare 107
2.2.4.2. Punct de sigilare 108
2.2.4.3. Definirea treptei de proces „compactizare" 109
2.2.4.4. Sistem de mărimi 109
2.2.4.5. Diagrama de compactizare 111
2.2.4.6. Efecte asupra compactizării 113
2.2.4.7. Alegerea punctelor de lucru 113
2.2.5. Răcirea şi demularea 113
2.2.5.1. Definirea treptei de proces „răcire" 114
2.2.5.2. Sistem de mărimi 114
2.2.5.3. Diagrama de răcire 118
2.2.5.4. Efecte asupra răcirii 119
2.2.5.5. Alegerea punctelor de lucru 120
2.3. Timpul total al unui ciclu de injectare 120
Bibliografie 121
3. Maşini de injectat 122
3.1. Variante constructive ale maşinilor de injectat 122
3.2. Unitatea de injectare 124
3.2.1. Unitatea de injectare cu piston 124
3.2.2. Unitatea de injectare cu melc 129

3.2.2.1. Procese în cilindrul maşinii 130
3.2.2.1.1. Plastifierea 133
3.2.2.1.1.1 Curgerea materialului în canalul melcului în zona de alimentare 134
3.2.2.1.1.2. Curgerea materialului în zona de tranziţie 136
3.2.2.1.1.3. Curgerea materialului în canalul melcului în zona de dozare 138
3.2.2.1.2. Injectarea 139
3.2.2.2. Duza 141
3.2.2.2.1. Duze deschise 142
3.2.2.2.2. Duze cu închidere 143
3.2.2.3. Melcul 146
3.2.2.3.1. Elementele constructive ale unui melc 147
3.2.2.3.2. Tipuri constructive de melc 153
3.2.2.3.3. Material şi execuţie 155
3.2.2.3.4. Calculul de rezistenţă 155
3.2.2.3.5. Acţionarea melcului 157
3.2.2.4. Cilindrul 159
3.2.2.4.1. Construcţia 160
3.2.2.4.2. Material şi execuţie 161
3.2.2.4.3. Răcirea şi încălzirea 161
3.2.2.4.4. Calculul de rezistenţă 162
3.2.2.5. Pâlnia de alimentare 167
3.2.2.6. Masa maşinii 168
3.3. Unitatea de închidere 169
3.3.1. Sistemul de închidere 170
3.3.1.1. Sisteme hidromecanice 170
3.3.1.2. Sisteme hidraulice 173
3.3.1.3. Studiul forţelor de închidere şi deschidere 177
3.3.1.3.1. Forţa de deschidere în matriţă 177
3.3.1.3.2. Forţa de închidere a mecanismului 178
3.3.1.3.3. Forţa de deschidere a mecanismului 182
3.3.2. Sistemul de reglare a cursei de închidere 183
3.3.2.1. Reglarea mecanică 183
3.3.2.2. Reglarea hidraulică 185
3.3.2.3. Reglarea la închiderile pur hidraulice 186
3.3.3. Coloanele de ghidare şi platourile de prindere 186
3.3.3.1. Coloanele de ghidare 187
3.3.3.2. Platoul fix şi platoul mobil 188
3.3.3.3. Platoul de capăt 192
3.3.4. Sistemul de aruncare 193
3.4. Acţionarea, comanda şi reglarea hidraulică a maşinilor de injectat 195
3.4.1. Sisteme de acţionare hidraulică 195
3.4.1.1. Pompe hidraulice 196
3.4.1.1.1. Pompe cu roţi dinţate 196
3.4.1.1.2. Pompe cu palete 197
3.4.1.1.3. Pompe cu pistonaşe axiale 199
3.4.1.1.4. Pompe cu pistonaşe radiale 200
3.4.1.2. Motoare hidraulice 202
3.4.1.2.1. Motoare hidraulice rotative 202
3.4.1.2.2. Motoare hidraulice liniare 203
3.4.2. Aparataj hidraulic de comandă 204
3.4.2.1. Aparataj de distribuţie 204
3.4.2.2. Aparataj de reglare şi control 209
3.4.2.2.1. Reglarea debitului 209
3.4.2.2.2. Reglarea presiunii 210

3.4.3. Elemente hidraulice proporționale 212
3.4.4. Supape Cartriges 215
3.4.5. Aparataj auxiliar 216
3.4.6. Scheme hidraulice de comandă ale mașinilor de injectat 218
3.5. Acționarea electrică. Comanda electrică și electronică 221
3.5.1. Acționarea electrică 221
3.5.2. Comanda electrică 221
3.5.2.1. Elemente ale comenzilor electrice 221
3.5.2.2. Scheme electrice de comandă 226
3.5.3. Comanda electronică 228
3.5.4. Dulapuri de comandă 230
3.6. Batiul mașinii 231
3.7. Elemente auxiliare ale mașinii de injectat 232
3.7.1. Sistemul de protecție 232
3.7.1.1. Sistemul de protecție al operatorului 232
3.7.1.2. Sistemul de protecție al matriței 233
3.7.2. Dispozitive de prindere a matrișei 234
3.7.3. Sisteme de transport și uscare a materialului plastic 235
3.7.4. Sisteme de distribuție a apei de răcire 237
3.7.5. Instalații de temperare a matriței 237
3.7.6. Sisteme de montare a matriței 237
3.7.7. Benzi transportoare 238
3.7.8. Separatoare de rețele 239
3.7.9. Mori de măcinat 239
3.7.10. Alte elemente auxiliare 240
Bibliografie 240
4. Metode speciale de injectare 244
4.1. Injectarea multicomponentă 244
4.1.1. Principiul procedeului 244
4.1.2. Injectarea bicomponentă 245
4.1.3. Injectarea tricomponentă 247
4.1.4. Injectarea multicomponentă cu materiale parțial compatibile și incompatibile 247
4.2. Injectarea cu presiune interioară de gaz 248
4.2.1. Principiul procedeului 248
4.2.2. Procedee de introducere a gazului sub presiune 250
4.2.3. Noțiuni tehnologice 250
4.2.4. Avantajele procedeului 252
4.3. Injectarea sandwich 252
4.3.1. Principiul procedeului 252
4.3.2. Injectarea ICI 252
4.3.3. Injectarea prin duză cu două canale 253
4.3.4. Injectarea prin duză cu trei canale 256
4.4. Injectarea contracadentă 257
4.4.1. Principiul procedeului 257
4.4.2. Variante constructive 258
4.4.3. Importanța procedeului 258
Bibliografie 259
5. Piese injectate 260
5.1. Concepția constructivă și tehnologică 260
5.1.1. Alegerea materialului plastic 260
5.1.2. Planul de separație 261
5.1.3. Locul de injectare 261
5.1.4. Grosimea pereților 262
5.1.5. Bordul superior 263

5.1.6. Forma fundului 263
5.1.7. Pereții laterali 264
5.1.8. Orificii în pereți 264
5.1.9. Conicități 265
5.1.10. Nervuri de rigidizare 266
5.1.11. Profilări de suprafață 267
5.1.12. Inserții 268
5.1.13. Filete 269
5.2. Concepția asamblării 270
5.2.1. Asamblări prin autofixare 270
5.2.1.1. Asamblări cu braț 271
5.2.1.2. Asamblări cilindrice 274
5.2.1.3. Alte tipuri de asamblări 276
5.2.2. Asamblări prin sudură 277
5.2.2.1. Sudarea cu element încălzitor 277
5.2.2.2. Sudarea prin frecare 278
5.2.2.3. Sudarea cu ultrasunete 280
5.2.3. Asamblări prin nituire 283
5.2.4. Asamblări prin lipire 284
5.2.5. Asamblări prin filet 285
5.2.5.1. Șuruburi și piulițe din metal 286
5.2.5.2. Șuruburi și inserții din metal 286
5.2.5.3. Șuruburi autofiletante din metal 288
5.2.5.4. Filete interioare în piese injectate 290
5.2.5.5. Filete exterioare în piese injectate și șuruburi din material plastic 291
5.2.6. Lagăre 293
5.2.6.1. Fenomene la lagărele din material plastic 293
5.2.6.2. Calculul lagărelor 296
5.2.6.3. Forme constructive 299
5.2.7. Angrenaje 299
5.2.7.1. Caracterizare generală 300
5.2.7.2. Calculul roților dințate 300
5.2.7.3. Soluții constructive 310
5.3. Calitatea piesei injectate 310
5.3.1. Absorbția de umiditate 310
5.3.2. Contracția piesei injectate 310
5.3.3. Influența parametrilor de prelucrare asupra preciziei piesei injectate 314
5.3.3.1. Parametrii sistemului 315
5.3.3.2. Mărimi de intrare și de ieșire 315
5.3.3.3. Mărimi perturbatoare 316
5.3.3.4. Optimizarea procesului 316
5.3.3.5. Mărimi de intrare independente de piesa injectată 317
5.3.3.6. Mărimi de intrare dependente de piesa injectată 318
5.3.4. Injectarea pieselor de precizie 320
5.4. Defectele pieselor injectate 325
5.4.1. Contracții, deformări, retasuri 325
5.4.2. Zone de ardere 329
5.4.3. Exfolieri 329
5.4.4. Urme de curgere 330
5.4.5. Defecte datorate umidității materialului plastic 331
5.4.6. Defecte dependente de presiune 331
5.5. Calculul pieselor injectate 332
5.5.1. Calculul la solicitări statice 332
5.5.1.1. Întindere și compresiune 336

5.5.1.2. Încovoiere 338
5.5.1.3. Răsucire 339
5.5.1.4. Forfecare 342
5.5.1.5. Solicitări compuse 343
5.5.2. Calculul la solicitări dinamice 344
5.5.2.1. Solicitare prin forțe de inerție 344
5.5.2.2. Solicitare prin șoc 344
5.5.2.3. Solicitări la oboseală 345
Bibliografie 346
6. Matrițe de injectat 348
6.1. Caracteristici generale ale matriței 348
6.1.1. Construcția și funcționarea matriței 348
6.1.2. Clasificarea matrițelor 350
6.2. Fenomene la curgerea materialului plastic în matriță 350
6.2.1. Capacitatea de curgere a termoplastelor la injectare 351
6.2.2. Evaluarea preactică a frontului de curgere în matriță 352
6.3. Sisteme de injectare în matriță 354
6.3.1. Injectarea directă 354
6.3.2. Injectarea prin canale de distribuție 356
6.3.2.1. Canale de distribuție 356
6.3.2.2. Diguri 359
6.3.3. Injectarea punctiformă 363
6.3.4. Injectarea peliculară sau film 365
6.3.5. Injectarea tip umbrelă 366
6.3.6. Injectarea inelară 366
6.3.7. Injectarea cu canal tunel 367
6.3.8. Injectarea cu canale izolate 370
6.3.9. Injectarea cu canale încălzite 372
6.3.9.1. Transferul termic în matriță 373
6.3.9.2. Dilatația termică a matriței 378
6.3.9.3. Elemente constructive 381
6.3.9.3.1. Duza 381
6.3.9.3.2. Distribuitorul 386
6.4. Sistemul de aruncare al matriței 390
6.4.1. Forța de aruncare 390
6.4.2. Tipuri de sisteme de aruncare 393
6.4.2.1. Aruncarea mecanică 393
6.4.2.1.1. Aruncarea cu știfturi 394
6.4.2.1.2. Aruncarea tubulară 397
6.4.2.1.3. Aruncarea cu placă dezbrăcătoare 398
6.4.2.1.4. Aruncătoare speciale 398
6.4.2.2. Mecanisme de aruncare cu retragere 399
6.4.2.3. Mecanisme de aruncare în trepte 401
6.4.2.4. Mecanism de aruncare cu amplificare 404
6.4.2.5. Sisteme de aruncare pentru separarea rețelei de piesa injectată 405
6.4.2.6. Aruncarea pneumatică 408
6.4.2.7. Aruncarea hidraulică 409
6.5. Centrarea și conducerea matrițelor de injectat 411
6.5.1. Centrarea exterioară 411
6.5.2. Centrarea interioară 412
6.5.3. Alte elemente de centrare 414
6.6. Temperarea matrițelor 417
6.6.1. Ecuația generală de bilanț 417
6.6.2. Transferul de căldură material plastic-matriță 417

6.6.3. Transferul de căldură între matriță și mediul de temperare 418
6.6.4. Transferul de căldură în interiorul matriței 420
6.6.5. Determinarea timpului de răcire în matriță 420
6.6.5.1. Determinarea timpului de răcire folosind nomograme 420
6.6.5.2. Determinarea prin calcul a timpului de răcire 421
6.6.6. Amplasarea și dimensionarea practică a sistemelor de temperare a matriței 424
6.6.6.1. Dimensionarea sistemului de temperare 424
6.6.6.2. Aplasarea sistemelor de temperare în matriță 428
6.6.6.2.1. Temperarea suprafețelor 428
6.6.6.2.2. Temperarea plăcilor 429
6.6.6.2.3. Temperarea poansoanelor 431
6.6.6.2.4. Temperarea elementelor speciale 433
6.6.7. Elemente auxiliare circuitelor de temperare 435
6.7. Aerisirea matrițelor 436
6.8. Construcții deosebite de matrițe 439
6.8.1. Matrițe de injectat cu bacuri 439
6.8.2. Matrițe de injectat cu deschidere în mai multe plane de separație 448
6.8.3. Matrițe pentru injectarea pieselor cu filet 451
6.8.3.1. Matrițe cu eliminarea forțată a pieselor 453
6.8.3.2. Matrițe cu poansoane filetate detașabile 453
6.8.3.3. Matrițe cu poansoane rotitoare 454
6.8.3.4. Matrițe pentru piese cu filet parțial 459
6.8.3.5. Matrițe pentru realizarea pieselor în planul de separație 460
6.8.3.6. Matrițe pentru realizarea filetului prin bacuri 461
6.8.3.7. Matrițe pentru obținerea filetului prin bucșe de deșurubare 461
6.8.4. Matrițe etajate 461
6.9. Condiții tehnice de execuție și asamblare a matrițelor 463
6.10. Tipizarea matrițelor 466
6.10.1. Elemente tipizate specifice 467
6.10.2. Elemente tipizate comune 467
6.11. Tratamente termice și termochimice recomandate matrițelor 469
6.11.1. Tratamente termice 470
6.11.1.1. Călirea 470
6.11.1.2. Revenirea 472
6.11.1.3. Recoacerea 472
6.11.2. Tratamente termochimice 473
6.11.2.1. Cementarea 473
6.11.2.2. Nitrurarea 473
6.11.2.3. Cianizarea 474
6.11.2.4. Carbonitrurarea 474
6.12. Materiale folosite în construcția matrițelor 474
6.12.1. Oțeluri 474
6.12.1.1. Oțeluri de uz general 476
6.12.1.2. Oțeluri pentru cementare 476
6.12.1.3. Oțeluri pentru nitrurare 477
6.12.1.4. Oțeluri pentru călire 478
6.12.1.5. Oțeluri pentru îmbunătățire 478
6.12.1.6. Oțeluri anticorozive 479
6.12.2. Materiale speciale 480
6.12.2.1. Materiale și aliaje neferoase 480
6.12.2.2. Materiale nemetalice 480
6.13. Procedee de execuție a matrițelor 480
6.13.1. Debitarea semifabricatelor 481
6.13.2. Prelucrări prin așchiere 481

6.13.3. Presarea la rece a cuiburilor matriței 487
6.13.4. Electroeroziunea 490
6.13.4.1. Fenomene fizico-chimice 490
6.13.4.2. Instalație de prelucrat prin electroeroziune 492
6.13.5. Turnarea de precizie 494
6.13.6. Executarea cuiburilor prin galvanoplastie 495
6.13.7. Executarea cuiburilor prin pulverizare 496
6.13.8. Fotocorodarea suprafețelor cuiburilor 497
6.13.9. Cromarea dură a suprafețelor matriței 498
6.13.10. Repararea matrițelor 500
6.14. Concepția matriței 501
6.14.1. Determinarea dimensiunii matriței 501
6.14.2. Determinarea numărului de cuiburi 503
6.14.3. Echilibrarea forțelor în matriță 505
6.14.4. Deformări în matriță 507
6.14.5. Dimensionarea și deformarea cuiburilor cilindrice 510
6.14.6. Dimensionarea și deformarea cuiburilor care nu sunt cilindrice 514
6.14.7. Dimensionarea și deformarea plăcilor matriței 514
6.14.8. Procedeu de calcul 515
6.14.9. Dimensionarea și deformarea poansoanelor 516
6.14.10. Concepția generală a matriței 523
Bibliografie 523
7. Automatizarea procesului de injectare 527
7.1. Concepția de bază a automatizării 527
7.1.1. Sistem automat 527
7.1.2. Sisteme de comandă și reglare 528
7.2. Reglarea parametrilor procesului de injectare 530
7.2.1. Reglarea temperaturii 531
7.2.1.1. Termometre și regulatoare de temperatură 531
7.2.1.1.1. Termometre 531
7.2.1.1.2. Regulatoare automate 532
7.2.1.2. Reglarea temperaturii unității de injectare 532
7.2.1.3. Reglarea temperaturii matriței 534
7.2.2. Reglarea presiunii din matriță 535
7.2.2.1. Măsurarea presiunii 536
7.2.2.2. Metode de reglare 536
7.2.3. Reglarea vitezei de injectare 540
7.2.3.1. Măsurarea vitezei de injectare 541
7.2.3.2. Metode de reglare a vitezei 541
7.2.4. Sisteme de reglare a presiunii și vitezei 541
7.2.5. Reglarea pernei de material 541
7.3. Sisteme de comandă cu calculator la mașina de injectat 542
7.4. Modalități de automatizare a procesului de injectare 547
7.4.1. Scoaterea automată a pieselor injectate și a rețelei cu ajutorul roboților 547
7.4.1.1. Roboți 547
7.4.1.2. Scoaterea pieselor și a rețelei din matriță 548
7.4.2. Sisteme de schimbare a matrițelor de injectat 549
7.4.2.1. Sisteme de schimbare orizontale 549
7.4.2.2. Sisteme de schimbare verticale 551
7.4.3. Sisteme de transport a pieselor injectate 552
7.4.4. Sisteme de alimentare cu material plastic 553
7.5. Calculatorul în procesul injectării 554
7.5.1. Noțiuni de bază 554
7.5.1.1. Proiectarea asistată de calculator 554

7.5.1.2. Planificarea producției asistate de calculator 555
7.5.1.3. Fabricația asistată de calculator 555
7.5.1.4. Sisteme de proiectare asistată de calculator și fabricație asistată de calculator 556
7.5.1.5. Sisteme de fabricație integrate cu calculatorul 557
7.5.1.6. Noțiuni suplimentare 557
7.5.2. Sisteme CAD, CAE, CAM în domeniul piesei injectate și a matriței 558
7.5.2.1. Sisteme CAE pentru piesa injectată 558
7.5.2.1.1. Obiectivele unui sistem CAE 559
7.5.2.1.2. Generarea și interpretarea datelor 560
7.5.2.1.3. Calculul 563
7.5.2.1.4. Date de material 566
7.5.2.2. Sisteme CAE în concepția matriței 566
7.5.2.3. Sisteme CAD/CAM la realizarea matriței 569
7.5.2.3.1. Proiectarea matrițelor cu ajutorul calculatorului folosind elemente normalizate 570
7.5.2.3.2. Fabricația matriței cu ajutorul calculatorului 571
7.5.3. Sisteme de fabricație integrate cu calculatorul în procesul de injectare 573
7.5.3.1. Cerințe ale CIM într-o intreprindere de injectat materiale plastice 574
7.5.3.2. Factori importanți ai unui sistem CIM pentru prelucrătorii prin injectare 574
7.5.3.3. Arhitectura unui sistem CIM 576
7.5.3.4. Diverse activități CIM în practică 577
Bibliografie 579
8. Operații suplimentare aplicate pieselor injectate 582
8.1. Prelucrări mecanice prin așchiere 582
8.1.1. Debitarea 583
8.1.2. Strunjirea 584
8.1.3. Frezarea 584
8.1.4. Găurirea 585
8.1.5. Rectificarea 587
8.1.6. Lustruirea 587
8.2. Ornamentarea 587
8.2.1. Marcarea la cald 588
8.2.2. Imprimarea prin serigrafiere 588
8.2.3. Imprimarea tampografică 589
8.2.4. Ornamentarea cu elemente transferabile și etichete autoadezive 589
8.2.5. Imprimarea direct în matriță 590
8.2.6. Imprimarea cu jet de cerneală 591
8.3. Acoperiri ale suprafeței 591
8.3.1. Metalizarea în vid cu aluminiu 591
8.3.2. Depunerea chimică 592
8.3.3. Vopsirea și lăcuirea 593
Bibliografie 594
9. Date utile 595
Bibliografie 611

1. Materiale termoplastice

1.1. Caracterizare generală

Materialele plastice sunt materialele care se obțin din polimeri și care se prelucrează la temperaturi la care acestea devin plastice în scopul obținerii produsului finit.

Materialele plastice la temperatură și presiune normală sunt relativ dure, puțin elastice și lipsite de proprietăți plastice.

Macromoleculele polimerilor sunt alcătuite din grupe de atomi care se repetă mai mult sau mai puțin ordonat în lungul catenei, grupe numite unități structurale sau meri [1]. Numărul de meri ai unei molecule reprezintă gradul de polimerizare. Macromoleculele care prezintă interes din punct de vedere tehnologic sunt acelea a căror masă moleculară depășește 10.000.

Polimerii sintetici se obțin prin reacții de polimerizare, de policondensare și de poliadiție [2]. În reacția de policondensare se leagă între ele molecule de același fel sau diferite, iar polimerul format are masa moleculară egală cu suma maselor moleculare ale moleculelor din reacție. În cazul policondensării, combinarea moleculelor simple și formarea polimerului se face cu punerea în libertate a unor substanțe simple (H_2O, HCl, etc). În cazul poliadiției au loc reacții prin care două sau mai multe molecule, de același fel sau diferite, reacționează pentru a forma un compus (reacții de adiție și de polimerizare între substanțe di- sau polifuncționale).

Procesul de polimerizare în cursul căruia se leagă între ele molecule de același fel poate fi reprezentat prin schema $nA \rightarrow (A)_n$ în care A este monomerul, iar n este gradul de polimerizare.

Procesul de polimerizare a două molecule diferite A și B se numește *copolimerizare* și se poate efectua alternativ (*-A-B-A-B-*), întâmplător (*-A-A-B-A-B-B-*), bloc (*-A-A-A-B-B-B-*) sau ramificat. Prin copolimerizare se obțin polimeri cu proprietăți îmbunătățite față de polimerii care au intrat în reacție.

În vederea întrebuințării lor tehnice materialele plastice se clasifică luând în considerare comportarea termomecanică, care ține seamă de variația deformației unui material polimer sub sarcină constantă, în funcție de temperatură. Din punct de vedere al comportării termomecanice se deosebesc următoarele grupe de polimeri: termoplaste, duroplaste, elastomeri.

Substanțele în natură se prezintă în patru stări de agregare: solidă, lichidă, gazoasă și plasmă. Compușii macromoleculari există numai în stările de agregare condensate, solidă și lichidă.

Pentru caracterizarea proprietăților compușilor macromoleculari starea de agregare este neconcludentă și de aceea se definește *starea de fază*, care în sens termodinamic, reprezintă o porțiune dintr-un sistem, omogenă din punct de vedere al compoziției chimice

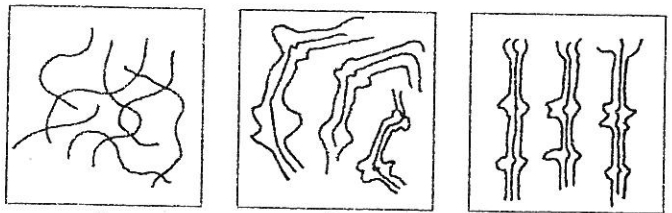


Fig.1.1. Reprezentarea schematică de împachetare a catenelor unui compus macromolecular: a - structură amorfă; b - strucură cu cristalite neorientate; c - structură cu cristalite orientate.

și proprietăților, separată de restul sistemului prin suprafețe nete. Se deosebesc două stări de fază ale polimerilor: cristalină și amorfă (*fig.1.1*).

Starea de fază cristalină se caracterizează prin aranjarea pachetelor de macromolecule flexibile în forme regulate formând rețele spațiale. Pachetul care cristalizează posedă limite de separație și tensiune superficială, însușiri caracteristice substanțelor cristaline.

Starea de fază amorfă este opusul fazei cristaline implicând elemente structurale neordonate și fără simetric.

Proprietățile fizice ale fazei cristaline se schimbă după direcția de orientare, ele fiind anizotrope, iar ale fazei amorfe nu se schimbă cu orientarea, ele fiind izotrope.

La compușii macromoleculari în afara stărilor de agregare și de fază se definește și conceptul de *stare fizică*. Polimerii amorfi se prezintă în trei stări fizice: vâscoelastică, înalt elastică și vitroasă (sticloasă). Acestea se deosebesc între ele printr-o serie de de proprietăți din modificarea cărora se determină temperaturile de transformare dintr-o stare în alta, cât și dependența lor de structura și proprietățile polimerului. Cele trei stări ale polimerului amorf pot fi urmărite pe diagrama deformație-temperatură (*fig.1.2*).

Starea sticloasă este caracterizată de deformații elastice foarte mici care cresc liniar cu temperatura respectând legea lui Hook și se explică prin preponderența însemnată a forțelor inter- și intramoleculare asupra energiei de agitație termică. Această stare se menține până la temperatura de vitrifiere T_v. Temperatura de vitrifiere scade cu micșorarea masei moleculare.

Starea înalt-elastică începe deasupra temperaturii de vitrifiere. Pe intervalul corespunzător stării înalt elastice deformațiile cresc rapid la început, după care rămân constante până la temperatura de curgere T_c. În acest domeniu polimerul dezvoltă deformații mari, reversibile, datorate mișcărilor termice executate de segmentul de lanț, fără

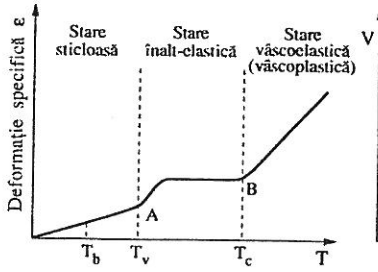


Fig.1.2. Diagrama de stare termodinamică.

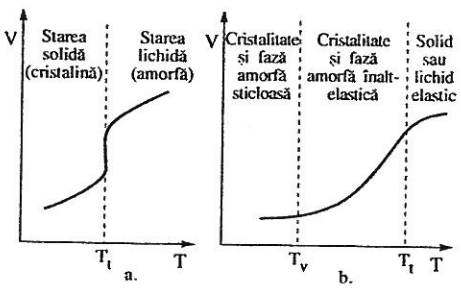


Fig.1.3. Dependența de temperatură a volumului specific al unui polimer:
a - cristalin; b - semicristalin.

ca moleculele să se deplaseze independent.

Starea vâscoelastică începe în cazul polimerilor amorfi la temperatura T_c. Acest domeniu se caracterizează printr-o mișcare termică intensă a segmentelor de lanț și a macromoleculelor în întregime. Temperatura de curgere marchează apariția, alături de deformația elastică reversibilă, a deformației ireversibile. Temperatura de curgere nu reprezintă o valoare fixă ci un interval caracteristic pentru fiecare polimer în parte, în funcție de configurația polimerului, de factori cinetici (viteza de încălzire) și de durata aplicării sarcinii. La T_c energia cinetică a macromoleculelor învinge forțele de coeziune moleculare, ceea ce permite mișcarea lor relativă de alunecare. Temperatura crește cu mărimea macromoleculelor.

Temperaturile caracteristice ale polimerilor sunt: temperatura de vitrifiere T_v, temperatura de curgere T_c, temperatura de fragilizare T_b, temperatura de topire T_t, temperatura de degradare termică T_d.

Temperatura de fragilizare T_b este temperatura minimă până la care materialul nu este casant. Practic, T_b este temperatura la care o epruvetă de polimer supusă unei solicitări instantanee se rupe.

Temperatura de degradare termică T_d este temperatura la care începe descompunerea polimerului sub influența căldurii. T_d depinde de durata solicitării termice. Cu cât gradul de polimerizare este mai mare, cu atât stabilitatea termică a polimerului este mai mică.

Temperatura de topire T_t este caracteristică polimerilor cristalini și marchează trecerea de la starea cristalină solidă la starea lichidă. Din analiza variației volumului specific al polimerilor cu temperatura se constată că polimerii cristalini au o temperatură de topire bine definită, iar polimerii semicristalini se caracterizează atât prin temperatură de topire, cât și prin temperatură de vitrifiere (*fig.1.3*). Polimerii numiți „cristalini" sunt de fapt semicristalini cu grad de cristalinitate mai mare de 90%.

Temperaturile caracteristice stărilor fizice ale unui polimer amorf se prezintă în *fig.1.4.*

Prelucrarea materialelor plastice este dependentă de starea lor fizică, astfel încât un anumit procedeu de prelucrare poate fi aplicat numai într-un anumit interval de temperatură.

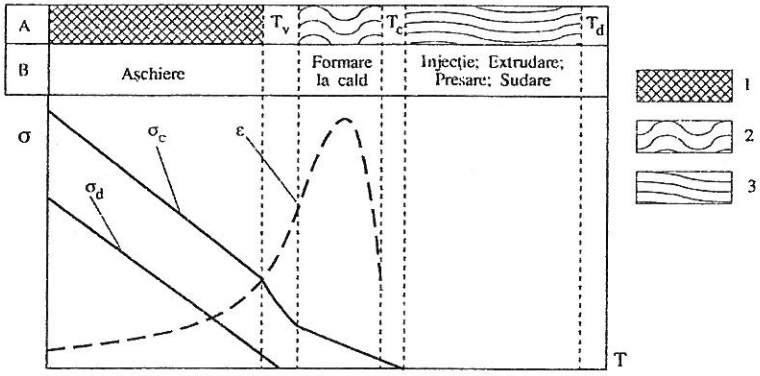


Fig.1.4. Temperaturile caracteristice stărilor fizice ale unui polimer:
A - dependența stării fizice a polimerilor amorfi de temperatură; B - procedee de prelucrare; 1 - faza solidă (sticloasă); 2 - faza termoelastică (înalt-elastică); 3 - faza termoplastică; σ_c - limita de curgere; σ_d - rezistența de durată; ε - alungirea specifică.

1.2. Proprietăţi fizice

Prelucrarea materialelor plastice prin injectare impune cunoaşterea caracteristicilor lor fizice în legătură cu proprietăţile implicate în procesul de prelucrare: schimbare de stare, deformare, curgere. Utilizarea materialelor plastice în schimb, impune cunoaşterea altor caracteristici fizice la injectare: rezistenţa mecanică, comportarea în câmp electric, magnetic sau termic, etc. Cunoaşterea proprietăţilor fizice ale materialelor plastice prelucrate prin injectare este necesară deoarece regimul de lucru, forma şi dimensiunile organelor active ale maşinii depind de valorile caracteristicilor fizice [11, 17, 20, 23].

În maşina de injectat materialul trece din starea solidă (granulată sau pulverulentă) în starea de topitură. Valorile parametrilor de lucru ai unei maşini de injectat (temperaturi, presiuni, viteze, etc.) depind de materialul prelucrat caracterizat de proprietăţile sale fizice. Din aceste motive este necesară cunoaşterea proprietăţilor fizice (termice, reologice, tribologice) ale materialelor plastice în stare solidă, granulară sau pulverulentă, în stare de topitură, precum şi în stare tranzitorie dintre granule sau pulbere şi starea de topitură [1, 9, 10].

1.2.1. Proprietăţile fizice ale materialelor termoplastice, granulare sau pulverulente (medii discontinue)

1.2.1.1. Fracţia de goluri

Un ansamblu de particule în stare granulată sau pulbere cuprinde particulele propriu-zise şi golurile dintre ele. Proprietăţile fizice ale ansamblului depind de volumul golurilor.

Fracţia de goluri sau *porozitatea* f_g într-un strat staţionar, este definită ca raportul dintre volumul golurilor V_g şi volumul total V al stratului granular sau pulverulent

$$f_g = \frac{V_g}{V}. \tag{1.1}$$

Fracţia de goluri depinde de forma particulelor, de spectrul granulometric, de dimensiunile spaţiului de lucru, de presiunea la care este supus ansamblul de particule.

Trecerea de la materialul granular sau pulverulent cu densitatea ρ_V la materialul compact cu densitatea intrinsecă ρ, care are loc pe seama anulării golurilor, se caracterizează prin raportul de compresie

$$F = \frac{\rho(T, p)}{\rho_V}, \tag{1.2}$$

în care $\rho(T, p)$ este densitatea finală la temperatura T şi presiunea p a materialului. Fracţia de goluri f_g se modifică în funcţie de aşezarea reciprocă a particulelor. Aşezarea particulelor sferice la alimentarea lor în cilindrul unei maşini de injectare în canalele melcului cu secţiune dreptunghiulară variază pe măsura deplasării acestora în canal între aşezarea cea mai afânată (zona de alimentare) şi aşezarea cea mai compactă (*fig.1.5*).

În practică forma, dimensiunile şi volumul granulelor nu sunt constante, ele variază

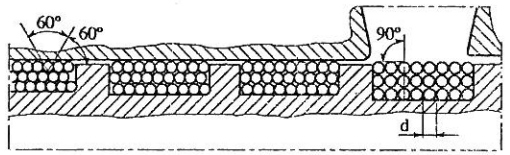


Fig.1.5. Aşezarea particulelor sferice în canale cu secţiunea dreptunghiulară.

aleator. Distribuţia dimensiunilor granulelor influenţează parametrii regimului termomecanic la prelucrarea prin injectare, putând determina fluctuaţii de presiune şi debit.

În canalele cu secţiunea dreptunghiulară, densitatea în vrac a granulelor depinde atât de aşezarea lor în canal cât şi de dimensiunile canalului.

1.2.1.2. Transmiterea presiunii

În medii discontinue, granulare sau pulverulente, presiunea se transmite altfel decât în fluide. Mediile de granulare sunt anizotrope, presiunea netransmiţându-se cu aceeaşi valoare în toate direcţiile în jurul unui punct.

1.2.1.3. Coeficientul de frecare externă

Frecarea între granulele sau pulberea de material plastic şi suprafeţele metalice are importanţă în practică, deoarece valoarea coeficientului de frecare influenţează debitul maşinii de injectare şi determină valoarea energiei disipate prin frecare externă.

Valoarea coeficientului de frecare depinde de: presiune, viteza relativă, temperatură, rugozitatea suprafeţelor în contact, prezenţa sau absenţa lubrifiantului pe suprafeţele de contact. În general, coeficientul de frecare externă, atât pentru pulberi cât şi pentru granule, se micşorează cu presiunea şi este practic independent de viteza relativă în raport cu suprafaţa metalică.

Coeficientul de frecare creşte cu creşterea adâncimii asperităţilor suprafetei metalice şi cu numărul microcanalelor de pe suprafaţa granulelor. Temperatura are efect diferit asupra coeficientului de frecare externă care este dependent de natura materialului.

Frecarea externă a materialelor plastice determină acumularea de sarcină electrostatică. De acest fenomen trebuie să se ţină seama la transportul prin conducte al granulelor sau a pulberii de material plastic.

1.2.1.4. Comportarea reologică

Este important ca materialele pulverulente sau granulare care alimentează maşinile de injectare să aibă proprietăţi de curgere corespunzătoare, mai ales în cazul alimentării automate a maşinilor.

Din punct de vedere practic interesează curgerea din buncăre (pâlnii de alimentare). Au fost determinate şi verificate experimental relaţii pentru profilul vitezelor la curgerea granulelor, precum şi debitul curgerii particulelor prin orificii circulare sau dreptunghiulare.

Caracterizarea capacităţii de curgere a unor medii necoezive se face cu ajutorul duratei de curgere dintr-un buncăr (pâlnie) cu diametrul D. Timpul de curgere reprezintă durata în care o cantitate de material granular sau pulverulent curge dintr-un buncăr de

dimensiuni date.

Procesul de prelucrare în mașina de injectare depinde și de procesul termomecanic din zona în care materialul este discontinuu (necoeziv și apoi coeziv). Acest lucru a impus determinarea coeficientului conductivității termice λ_q.

Conductivitatea termică influențează transferul termic de la peretele metalic la ansamblul granular sau pulverulent. S-a constatat că coeficientul conductivității termice λ_q crește proporțional cu mărimea densității în vrac datorită micșorării fracției de goluri.

1.2.2. Proprietăți fizice ale materialelor termoplastice (medii continue)

Proprietățile fizice ale diferitelor materiale termoplastice sunt prezentate în prospectele diferitelor firme [4...7, 14...15, 19, 34...58].

1.2.2.1. Proprietăți mecanice

Materialele termoplastice sunt materiale vâscoelastice, ele prezentând fenomenul de fluaj, chiar la temperatura mediului ambiant.

Fluajul sau curgerea lentă este fenomenul de variație a eforturilor unitare și a deformațiilor sub efectul sarcinilor aplicate. Din acest motiv caracteristicile mecanice determinate în încercări de scurtă durată nu sunt concludente pentru calculul pieselor injectate.

Pentru a caracteriza din punct de vedere al rezistenței mecanice un material termoplastic trebuie să se țină seama de efectul concentrației diferitelor materiale din compoziția sa, de efectul unor factori de mediu (temperatură, umiditate, raze ultraviolete, etc.), precum și de efectul trecerii timpului asupra valorii caracteristicilor mecanice.

1.2.2.1.1. Solicitarea de scurtă durată

În încercările de scurtă durată se urmărește determinarea dependenței dintre efortul unitar aplicat (σ sau τ) și deformația specifică (ε sau γ) precum și stabilirea caracteristicilor ruperii (σ_r, ε_r, caracterul ruperii). Durata încercării este corelată cu viteza de variație a sarcinii aplicate sau cu viteza de deformare.

Modulul de elasticitate dă indicații asupra rigidității materialului. La același efort unitar materialul mai rigid se deformează mai puțin și are un modul de elasticitate mai mare. Se definesc noțiunile:

- *modul de elasticitate la tracțiune efectiv*

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}, \tag{1.3}$$

care se determină măsurând panta tangentei la curba caracteristică (*fig.1.6*);

- *modul de elasticitate transversal pentru solicitarea de răsucire*

$$G = \frac{d\tau}{dr}. \tag{1.4}$$

Modulul de elasticitate transversal pentru o piesă injectată se poate calcula plecând

de la modulul de elasticitate E

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}, \tag{1.5}$$

unde μ este coeficientul lui Poisson ($\mu \approx 0{,}33$ pentru materiale termoplastice rigide).

Masa moleculară precum și gradul de orientare al polimerului influențează valoarea caracteristicilor mecanice. La creșterea masei moleculare a materialului termoplastic crește rezistența sa la rupere.

Ruperea materialelor termoplastice poate avea caracter fragil, vâscoelastic sau vâscos. Caracterul ruperii iese în evidență pe diagrama σ-ε și depinde de viteza încărcării (*fig.1.7*).

Un material care la viteze mici de încărcare se rupe vâscos, la viteze mari de încărcare se poate rupe vâscoelastic sau fragil. La termoplaste se întâlnește în general ruperea vâscoasă caracterizată printr-o lungire pronunțată (etirare) a piesei înainte de rupere.

Valorile caracteristicilor mecanice ale unui material termoplastic depind și de natura și concentrația materialelor auxiliare, precum și de orientarea macromoleculelor. Astfel, pentru piesele obținute prin injectare rezistența la rupere pe direcția curgerii este substanțial mai mare decât pe direcția perpendiculară la direcția de curgere [4, 13, 40, 44, 46].

Existența concentratorilor de eforturi unitare pe suprafața unei piese (găuri, crestături, gâtuiri, etc.) determină în zona respectivă diminuarea rezistenței mecanice a materialului.

Valoarea modulului de elasticitate E scade cu creșterea temperaturii (*fig.1.8*). O variație similară se constată și pentru modulul de elasticitate transversal G.

1.2.2.1.2. Solicitarea de lungă durată

Cu trecerea timpului, pentru o piesă injectată, valorile caracteristicilor mecanice scad și cresc deformațiile. Efortul unitar la care se produce ruperea se micșorează cu trecerea timpului (*fig.1.9*).

Variația în timp a deformației specifice la temperatură și sarcină constantă depind de natura polimerului. După o anumită durată, deformația crește accelerat într-un interval scurt de timp, momentul începerii acestui proces fiind de foarte mare importanță la

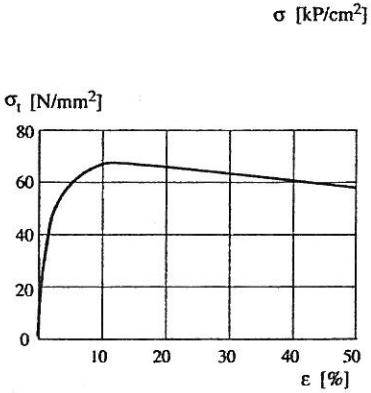


Fig.1.6. Diagrama σ-ε a unui poliacetal (Hostaform) cu viteză de încercare de 12,5 mm/min.

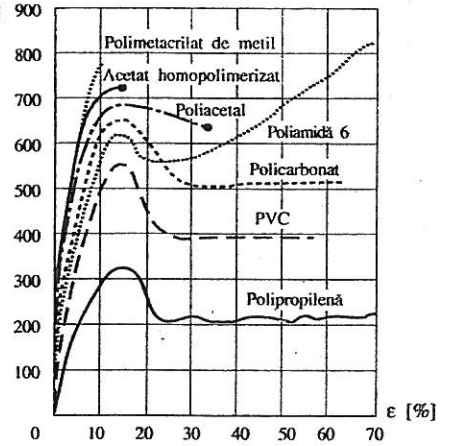


Fig.1.7. Diagrama σ-ε pentru diferite materiale.

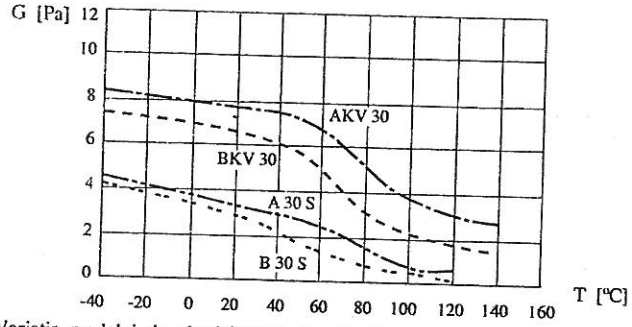


Fig.1.8. Variația modulului de elasticitate în funcție de temperatură pentru poliamidă (Durethan de diferite tipuri).

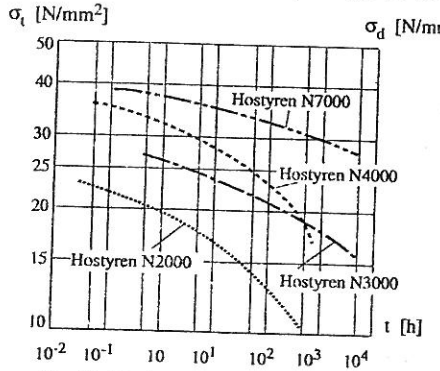


Fig.1.9. Rezistența la fluaj la solicitare permanentă pentru polistiren (Hostyren de diferite tipuri).

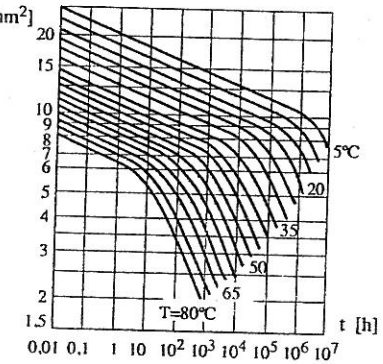


Fig.1.10. Variația în timp a rezistenței de durată a polietilenei de înaltă densitate la diferite temperaturi.

utilizarea piesei injectate. Pentru proiectare se utilizează valoarea rezistenței de durată σ_d în funcție de timp, la diferite temperaturi pentru fiecare material plastic.

Durabilitatea sau durata până la rupere a unui material plastic depinde de temperatură și de efortul unitar aplicat (*fig.1.10*). Durata până la rupere este influențată de efecte corozive și în general de mediul în care se află piesa injectată.

1.2.2.1.3. Solicitarea la oboseală

Dacă sarcinile aplicate pentru piesele injectate variază periodic între o limită maximă și una minimă, se spune că piesa injectată este supusă la solicitări variabile sau la solicitări la oboseală. Variația efortului unitar pornind de la o valoare oarecare și până ajunge din nou la aceeași valoare și la același sens de variație, formează un ciclu al solicitării variabile (*fig.1.11*).

Caracteristicile de rezistență ale materialului ca urmare a acestei solicitări se diminuează cu creșterea numărului de cicluri de solicitare tinzând către o valoare constantă după un număr foarte mare de solicitări. Variația periodică în timp a efortului unitar poate fi provocată pe cale mecanică sau poate fi urmarea unor fluctuații periodice de temperatură.

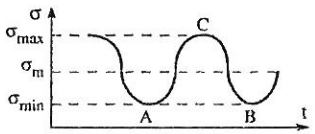


Fig.1.11. Ciclul unei solicitări variabile: σ_{max} - efort unitar maxim; σ_{min} - efort unitar minim; σ_m - efort unitar mediu; ACB - ciclu.

Supuse solicitărilor ciclice, materialele plastice se încălzesc (datorită componentei vâscoase și conductivității termice relativ scăzute) astfel încât ruperea poate avea loc după două mecanisme diferite:

- temperatura crește un timp, după care se stabilizează; ruperea are loc prin propagarea fisurii;
- temperatura crește continuu, motiv pentru care are loc înmuierea (termică) și în final materialul cedează.

Pentru marea majoritate a materialelor plastice, rezistența la oboseală la vibrații atinge 20...30% din rezistența la rupere determinată la încercarea de scurtă durată. Rezistența la oboseală scade în prezența concentratorilor de eforturi unitare. În același sens acționează defectele existente în interiorul unei piese injectate.

1.2.2.1.4. Influența regimului de prelucrare asupra caracteristicilor mecanice

Rezistența mecanică a pieselor injectate din materiale termoplastice depinde de parametrii regimului de prelucrare. Presiunea și temperatura topiturii, viteza de prelucrare, viteza de răcire a piesei injectate determină starea de eforturi unitare permanente. Alegerea unui regim de prelucrare optim determină în piesele injectate eforturi unitare minime.

Tratamentul termic aplicat pieselor injectate duce la micșorarea stării de tensiuni interne și corespunzător la mărirea durabilității ei.

În cazul obținerii pieselor cu configurații complicate prin injectare, regimul de prelucrare poate fi modificat în limite strânse. Din acest motiv reducerea la minimum a eforturilor unitare remanente nu poate fi realizată numai prin modificarea regimului de prelucrare ci și prin tratamentul termic al pieselor obținute.

Efectul parametrilor regimului de prelucrare depinde de natura polimerului, masa moleculară, gradul de cristalinitate, etc.

1.2.2.1.5. Tratamentul termic

Ca urmare a aplicării tratamentului termic unei piese injectate se obține: micșorarea eforturilor unitare remanente rezultate din procesul de injectare, mărirea stabilității dimensionale a pieselor, mărirea rezistenței la agenții chimici, mărirea rezistenței la rupere, îmbunătățirea caracteristicilor electrice.

Pentru piesele injectate eforturile unitare remanente scad cu mărirea duratei de menținere la temperatura de tratament termic și cu mărirea grosimii piesei.

Principiul tratamentului termic constă în a aduce piesele injectate deasupra temperaturii de utilizare pentru a provoca variații dimensionale. Tratamentul se efectuează într-un mediu neutru în raport cu materialul, suprimând contactul cu aerul pentru a evita fenomenul de oxidare. Se folosesc în general uleiuri minerale sau uleiuri solubile ca medii de tratament termic.

Pentru a evita șocurile termice, creșterea și scăderea temperaturii băii se face treptat, înainte și după efectuarea tratamentului termic.

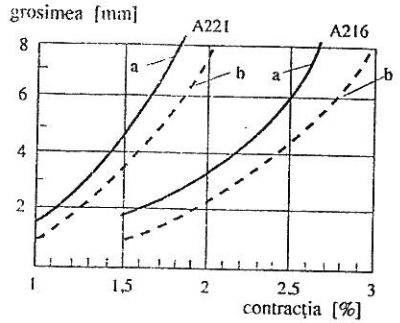


Fig.1.12. Influența tratamentului termic pentru două tipuri de poliamidă (Technyl) pentru o placă injectată 100x100 mm: a - după injectare; b - după stabilizare termică (t = 1 oră; T = 150°C).

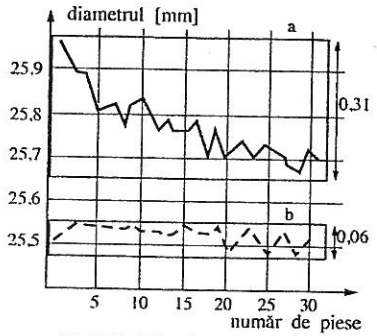


Fig.1.13. Efectele secundare ale tratamentului termic la o piesă injectată din poliamidă (Technyl A216): a - înainte de stabilizare; b - după stabilizare.

Ca urmare a aplicării tratamentului termic, în piesa injectată apar contracții aditionale (*fig.1.12*) și se realizează o ameliorare a constantei cotelor (*fig.1.13*).

Mediul în care are loc tratamentul termic influențează rezultatele dacă are loc simultan un proces de chemosorbție. Asemenea medii de tratament chimic active, pătrund în polimer prin porii acestuia, prin microcanale, microfisuri și alte defecte producând modificarea chimică a polimerului îndeosebi în stratul superficial.

1.2.2.2. Proprietăți tribologice

Comportarea tribologică a materialelor termoplastice influențează prelucrarea prin injectare și de asemenea influențează alegerea lor pentru construcția pieselor supuse fenomenelor de frecare [1, 9]. Acestea se studiază în combinațiile polimer-polimer și polimer-metal.

Proprietățile tribologice ale materialelor termoplastice depind de natura polimerului, de natura și cantitatea componentelor recepturii, de natura suprafeței de contact, de rugozitatea pieselor în contact, de presiune, de temperatură și de viteza relativă a pieselor.

Și pentru mase plastice ca și pentru metal există următoarele stadii de frecare: frecarea uscată, frecarea mixtă și frecarea fluidă.

Coeficientul de frecare pentru diferite materiale plastice în cazul frecării uscate și mixte poate fi urmărit în *tab.1.1.*

În procesul de frecare al materialelor plastice se constată transfer de material plastic de pe o suprafață pe alta, ceea ce confirmă ipoteza naturii adezive a frecării și uzării.

Se constată că forța de frecare pentru materiale plastice se compune din două componente

$$F_f = F_a + F_d, \qquad (1.6)$$

în care:

- F_a - forța necesară ruperii micilor joncțiuni determinate de adeziunea celor două suprafețe aflate în contact;
- F_d - forța necesară deformării (sau deplasării materialului) ca urmare a întrepătrunderii neregularităților celor două suprafețe aflate în contact.

Adaosul unor lubrifianți micșorează atât frecarea interioară a polimerului, cât și frecarea pe suprafețe metalice. Lubrifianții formează un film între polimer și suprafața

Tab.1.1. Coeficientul de frecare pentru diferite materiale plastice.

Compusul	Densitate [g/cm³]	Duritate (Rockwell)	μ	
			uscat	ulei
Teflon	2,10	25	0,04...0,30	0,04...0,06
Relon	2,14	10,5	0,12...0,19	0,04...0,06
Teflon MoS_2 (1:1)	2,07	63	0,13...0,21	0,04...0,06
Teflon MoS_2 (3:1)	2,41	33	0,13...0,22	0,05...0,06
Teflon - grafit (1:1)	2,88	42	0,12...0,19	0,05...0,07
Teflon - grafit (3:1)	2,12	52	0,12...0,19	0,04...0,06
Teflon - asbest (3:1)	2,11	60,5	0,14...0,21	0,04...0,05
Acetat de celuloză	1,13	72	0,17...0,32	0,07...0,14
Polimetacrilat de metil	1,16	89	0,16...0,47	0,10...0,19
Poliamidă 6.6.	1,14	85	0,15...0,33	0,09...0,14
Polietilenă	1,89	35	0,17...0,80	0,04...0,09
Polistiren	1,02	81	0,12...0,45	0,06...0,13

metalică, evitând lipirea materialului pe această suprafață. În cazul unei polietilene, de exemplu, prin ungere cu apă, coeficientul de frecare devine de două ori mai mic decât în cazul frecării uscate și se reduce aproape la zero în cazul ungerii cu emulsie (*fig.1.14*).

Temperatura suprafeței metalice cu care materialul plastic se află în contact influențează coeficientul de frecare, astfel costatându-se creșterea coeficientului de frecare cu scăderea temperaturii. La temperaturi mari sau la viteze mari, coeficientul de frecare crește (*fig.1.15*).

Rugozitatea suprafeței joacă un rol important pentru cupla materialului plastic-metal, constatându-se un minim pentru PA 6.6 și o variație mai puțin pronunțată pentru celelalte materiale plastice (*fig.1.16*).

Presiunea de contact influențează atât coeficientul de frecare cât și intensitatea uzării. Pentru toate materialele plastice, creșterea presiunii de contact conduce la creșterea uzurii.

Durata frecării în general modifică valoarea coeficientului de frecare. În timpul frecării are loc uzarea suprafețelor aflate în contact. Se disting trei tipuri de uzare la materialele plastice:

- *uzare abrazivă* cauzată de asperitățile mai dure ale suprafeței cu care materialul plastic vine în contact;
- *uzare de oboseală* cauzată de variația ciclică a eforturilor unitare locale

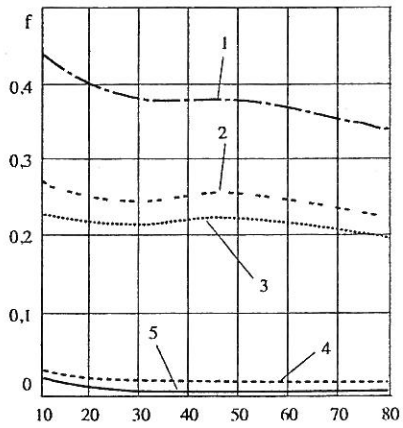


Fig.1.14. Coeficientul de frecare al unei polietilene pe oțel, la diferite viteze:
1 - frecare uscată la v = 0,0136 m/s;
2 - ungere cu apă la v = 0,0136 m/s;
3 - ungere cu apă la v = 0,136 m/s;
4 - ungere cu emulsie de ulei la v = 0,0136 m/s;
5 - ungere cu emulsie de ulei la v = 0,136 m/s.

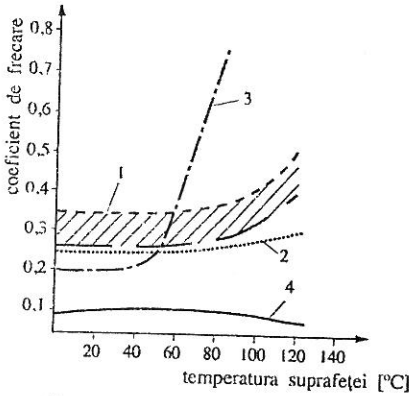


Fig.1.15. Efectul temperaturii asupra coeficientului de frecare pentru diferite materiale plastice: 1 - poliamidă 6.6; 2 - poliformaldehidă; 3 - polietilenă de înaltă densitate; 4 - poliamidă cu 10% polietilenă; R_a = 2 μm; p = 0,5 daN/cm²; v = 0,6 m/s.

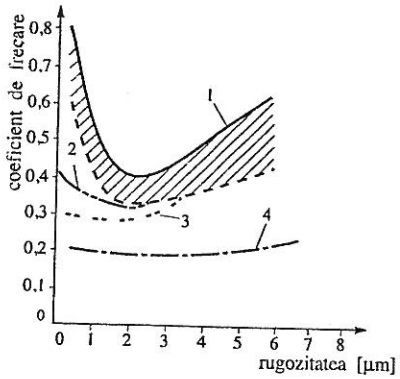


Fig.1.16. Efectul rugozității asupra coeficientului de frecare pentru diferite materiale plastice: 1 - poliamidă 6.6; 2 - poliformaldehidă; 3 - polietilenă de înaltă densitate; 4 - poliamidă 6.6 cu 10% polietilenă.

care are loc prin detașarea locală a unor particule de material plastic;

- *uzare de adeziune* cauzată de forțele de adeziune dintre suprafețele în contact, care se manifestă prin transfer de la o suprafață la alta.

Nu există, în general, o relație directă între frecare și uzare deși factorii care determină mărirea coeficientului de frecare duc în mod uzual și la mărirea uzurii. Temperatura influențează uzarea. Din acest motiv în cuplurile de frecare material plastic-metal, pentru materialul plastic se recomandă anumite valori maxime admisibile (*tab.1.2*).

1.2.2.3. Proprietăți termodinamice

Cunoașterea proprietăților fizice ale materialelor termoplastice la diverse presiuni și temperaturi este necesară pentru stabilirea corectă a parametrilor de lucru ai mașinii de injectare.

Proprietățile termodinamice ale materialelor termoplastice depind de temperatură și de presiune, la care se adaugă influențe specifice polimerilor în legătură cu structura lor cristalină, semicristalină sau amorfă.

1.2.2.3.1. Variația volumului specific și a densității în funcție de temperatură

Între *volumul specific* V al unui material și densitatea intrinsecă ρ există relația

$$V = \frac{1}{\rho}. \qquad (1.7)$$

Variația volumului specific cu temperatura pentru materiale termoplastice se caracterizează printr-un interval de schimbare de stare care este cu atât mai larg cu cât gradul de cristalinitate este mai mic.

Tab.1.2. Temperatura maximă admisibilă din punct de vedere tribologic pentru unele materiale plastice.

Material	Temperatura maximă admisibilă [°C]
Policlorură de vinil	60...95
Polistiren	60...95
Poliolefine	70...105
Poliamide	80...110
Policarbonați	100...135

Volumul specific depinde de temperatură (*fig.1.17*) și presiune. Dependența volumului specific de temperatură se exprimă astfel

$$V = V_0[1 + \alpha(T - T_0)]. \qquad (1.8)$$

în care:

- V_0 - volumul specific la temperatura T_0 (de schimbare de stare pentru polimerii cristalini și de vitrifiere pentru polimerii amorfi);
- α - coeficientul de dilatare volumică care indică efectul temperaturii asupra modificării volumului materialului.

Valorile T_0, V_0, α și ρ sunt cuprinse în *tab.1.3.*

Volumul specific depinde și de condițiile termice ale piesei injectate în matriță, astfel încât V scade cu creșterea temperaturii matriței de injectare.

Volumul specific relativ V_r al materialelor plastice se definește ca raport între volumul specific la o anumită temperatură T și valoarea sa la 20°C

$$V_r = \frac{V_{(T)}}{V_{(20°C)}}. \qquad (1.9)$$

Conform relației (1.7), dacă se cunoaște volumul specific al unui material termoplastic, se poate calcula densitatea.

Densitatea unui material termoplastic provenit dintr-un anumit polimer depinde de natura materialelor auxiliare amestecate cu polimerul, de gradul de cristalinitate și de valoarea presiunii.

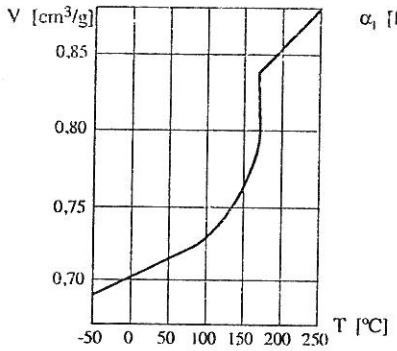


Fig.1.17. Variația volumului specific pentru un poliacetal (Hostaform C).

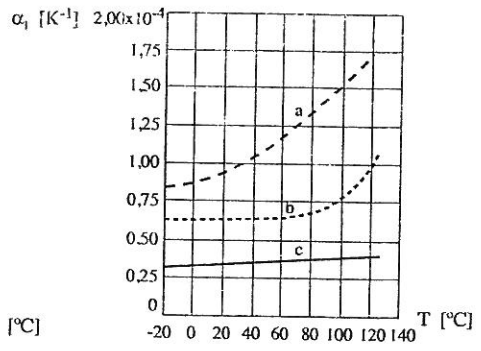


Fig.1.18. Variația coeficientului de dilatare α_L pentru diferite tipuri de poliacetali:
a - Hostaform C nearmat; b - Hostaform C 9021 Gv 1/30 perpendicular pe sensul de flux;
c - Hostaform C 9021 Gv 1/30 în sensul fluxului.

Tab.1.3. Valori ale lui T_0, V_0, α și ρ pentru câteva materiale termoplastice.

Material	Duritate la 20°C [kg/m³]	T_0 [°C]	V_0 [m³/kg]	α [grad⁻¹]
Polietilenă de joasă densitate	918	115	$1,249 \cdot 10^{-3}$	$0,69 \cdot 10^{-3}$
Polietilenă de înaltă densitate	956	131	$1,262 \cdot 10^{-3}$	$0,69 \cdot 10^{-3}$
Polipropilenă	914	186	$1,318 \cdot 10^{-3}$	$0,61 \cdot 10^{-3}$
PVC	1319	80	$0,730 \cdot 10^{-3}$	$0,73 \cdot 10^{-3}$
Polistiren	1047	84	$0,972 \cdot 10^{-3}$	$0,56 \cdot 10^{-3}$
Policarbonat	1196	150	$0,861 \cdot 10^{-3}$	$0,60 \cdot 10^{-3}$
Polietilentereftalat	1417	280	$0,857 \cdot 10^{-3}$	$0,64 \cdot 10^{-3}$
Polimetacrilat	1186	105	$0,866 \cdot 10^{-3}$	$0,58 \cdot 10^{-3}$
Poliamidă 6.6.	1130	-	$0,8837 \cdot 10^{-3}$	$0,5499 \cdot 10^{-3}$

Pentru materialele poroase, ρ depinde de procentul de goluri pe unitatea de volum.

1.2.2.3.2. Coeficientul de dilatare liniară

Sub influența căldurii, dimensiunile unei piese din materiale plastice cresc, fenomenul numindu-se *dilatare termică.*

Fenomenul invers, de micșorare a dimensiunilor unei piese injectate din material plastic, se numește *contracție.*

O dimensiune L a unei piese injectate la o temperatură dată T se calculează cu formula

$$L_T = L_0[1 + \alpha_L(T - T_0)], \tag{1.10}$$

în care: L_0 este dimensiunea piesei injectate la temperatura de referință T_0, α_L este coeficientul de dilatare liniară a materialului termoplastic.

Coeficientul de dilatare liniară α_L, crește cu temperatura (*fig.1.18*). Coeficientul de dilatare liniară depinde și de natura și proporția materialului termoplastic ranforsat, precum și de direcția de orientare a fluxurilor de curgere (*fig.1.18.b, c*).

1.2.2.3.3. Căldura specifică

Căldura specifică c este cantitatea de energie calorică necesară unei unități de masă dintr-un corp pentru a-și modifica temperatura cu un grad

$$c = \frac{dQ}{dT}, \tag{1.11}$$

în care: Q este cantitatea de energie calorică pe unitatea de masă iar T temperatura.

Căldura specifică caracterizează proprietatea unui corp de a acumula căldură. În cazul încălzirii la volum constant, căldura specifică se numește *căldură specifică la volum constant* c_v. Dacă încălzirea se face la presiune constantă, căldura specifică se numește *căldură specifică la presiune constantă* c_p. Pentru substanțele solide și lichide $c_p \approx c_v \approx c$.

Pentru polimerii cristalini, la temperatura de schimbare de stare T_S, căldura specifică are un salt brusc, iar la polimerii amorfi și cei semicristalini căldura specifică nu are salturi bruște în intervalul de schimbare de stare. Dependența căldurii specifice de temperatură este prezentată în *fig.1.19.*

Istoria solicitării termomecanice influențează variația căldurii specifice cu temperatura odată cu creșterea vitezei de încălzire a unui polimer crește valoarea căldurii specifice.

1.2.2.3.4. Entalpia

Entalpia H este o marime termodinamică definită prin relația

$$H = U + pV, \tag{1.12}$$

în care: U este energia internă; p, presiunea; V, volumul specific.

Ca și căldura specifică, entalpia materialelor plastice depinde de natura polimerului, de gradul de cristalinitate, de istoria solicitării termomecanice. Entalpia polimerilor crește cu creșterea temperaturii (*fig.1.20*) și cu creșterea presiunii.

1.2.2.3.5. Conductivitatea termică

Coeficientul de conductivitate termică λ caracterizează capacitatea materialelor de a conduce căldura. Materialele termoplastice nu sunt materiale bune conducătoare de căldură. Coeficientul λ depinde de structura polimerului, de orientarea macromoleculelor în piesa injectată, de gradul de cristalinitate, de direcția transmiterii căldurii în raport cu orientarea macromoleculelor, de presiune, de temperatură, de umiditate și de porozitate.

În *tab.1.4* sunt prezentate valori ale coeficientului de conductivitate termică pentru câteva materiale termoplastice.

Conductivitatea redusă a materialelor termoplastice permite utilizarea lor ca izolatori termici. Conductivitatea termică redusă a termoplastelor se îmbunătățește prin compoundarea acestora cu materiale bune conducătoare de căldură: oxizi metalici, pulberi metalice, etc.

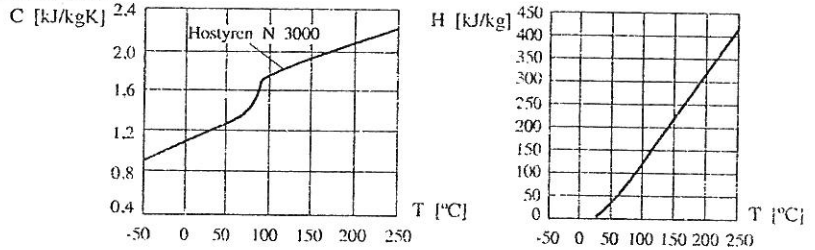


Fig.1.19. Variația căldurii specifice cu temperatura:
a - polistiren (Hostiren N300); b - poliacetal (Hostaform C9021).

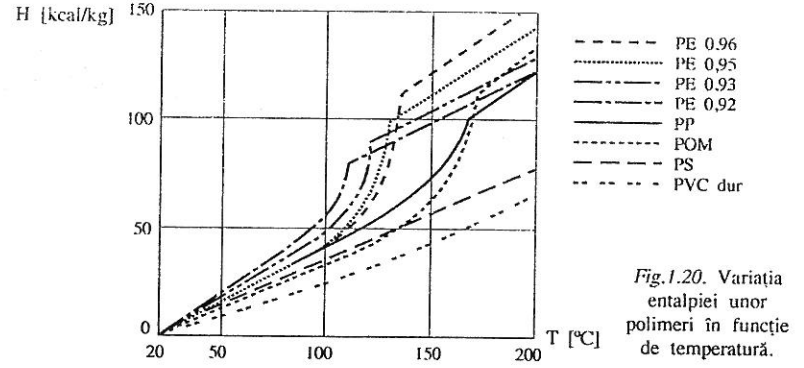


Fig.1.20. Variația entalpiei unor polimeri în funcție de temperatură.

1.2.2.3.6. Difuzivitatea termică

În procesele termice nestaționare, viteza de variație a temperaturii materialului termoplastic se caracterizează prin mărimea numită *coeficient de difuzivitate termică*

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}. \tag{1.13}$$

Pentru polimeri a are valori cuprinse în intervalul $0{,}4 \cdot 10^{-7}$... $1{,}8 \cdot 10^{-7}$ m^2/s.

Adaosul de plastifianți micșorează valoarea difuzivității termice și coboară temperatura de tranziție vitroasă a termoplastelor amorfe. Valoarea coeficientului de difuzivitate termică crește cu creșterea gradului de cristalinitate al materialului termoplastic. În cazul materialelor plastice expandate difuzivitatea termică scade cu mărirea densității materialului expandat.

1.2.2.3.7. Ecuații de stare termodinamică

Injectarea materialelor termoplastice presupune: curgere, transfer termic și cunoașterea dependenței presiune-temperatură-volum pentru materialul termoplastic prelucrat.

Starea termodinamică a unui material termoplastic în stare lichidă este definită de presiunea p, temperatura T și volumul specific V. Cele trei mărimi sunt interdependente. Interdependența acestor parametrii se exprimă printr-o ecuație de stare termodinamică, exprimată prin funcția

$$F_{(p,V,T)} = 0. \tag{1.14}$$

Interdependențele p-V-T pot fi obținute empiric, semiempiric sau teoretic.

Variația volumului specific în raport cu temperatura pentru diferite presiuni în cazul polistirenului standard este prezentată în *fig.1.21*. Variația volumului specific în raport cu temperatura pentru diferite presiuni în cazul unei polietilene de înaltă densitate este prezentată în *fig.1.22*.

1.2.2.4. Proprietăți reologice

Reologia se ocupă cu studiul curgerii corpurilor sub acțiunea unor forțe și cu răspunsul corpurilor ca urmare a aplicării acelor forțe [1, 10, 17]. O forță sau un sistem de forțe aplicat unui corp conduc la mișcarea acestuia, mișcare care poate consta din deformări și deplasări.

Un corp este *deformat* atunci când sub acțiunea solicitărilor își modifică forma sau volumul. Deformarea solidelor are loc până la atingerea echilibrului între forțele externe

Tab.1.4. Valori pentru coeficienții de dilatare termică liniară și conductivitate termică.

Polimerul	Coeficient de dilatare termică liniară (experimental) [$\alpha \cdot 10^5$ $grad^{-1}$]	Coeficient de conductivitate termică [$w \cdot m^{-1} \cdot grad^{-1}$]
Polistiren	7,77	0,163
Polimetacrilat de metil	7,56	0,197
Policlorură de vinil	6,61	0,168
Policarbonat	6,25	0,234

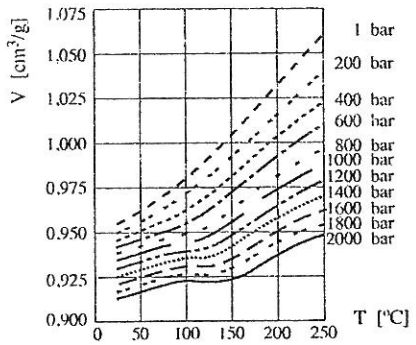


Fig.1.21. Diagrama p-V-T pentru polistiren.

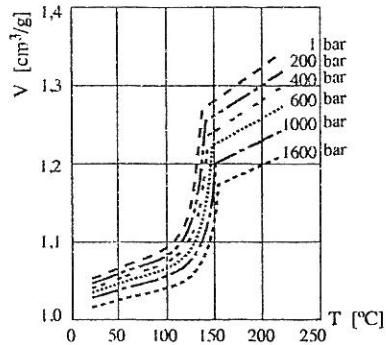


Fig.1.22. Diagrama p-V-T pentru polietilenă de înaltă densitate (Hostalen GF 4760).

și cele interne. După îndepărtarea forțelor deformația se poate recupera, această proprietate numindu-se *elasticitate*.

În cazul lichidelor, prin aplicarea unei forțe neomogene și anizotrope nu se ajunge la o deformare de echilibru, gradul de deformare schimbându-se continuu în timp. Deformația a cărei valoare crește continuu și nu se mai recuperează după îndepărtarea forței se numește *curgere*. Fluidele opun rezistențe mici la deformare, în timpul curgerii iau naștere forțe de frecare internă care diminuează viteza de deformare. La acțiunea unei forțe viteza de deformare crește până se stabilește echilibrul cu forța de frecare, după care viteza de deformare rămâne constantă. Proprietatea fluidelor de a opune rezistență la schimbarea ireversibilă a poziției elementelor de volum constituente și de a disipa energia mecanică sub formă de căldură se numește *vâscozitate*.

Elasticitatea este o proprietate specifică corpurilor solide, iar *vâscozitatea* este o proprietate a corpurilor fluide. Multe topituri de polimeri curg sub acțiunea unei solicitări, întrucât posedă vâscozitate, iar după îndepărtarea solicitării o mică parte din deformație se recuperează posedând și atributul unui solid, elasticitate. Toate corpurile la care componenta elastică și componenta vâscoasă se manifestă simultan se numesc *vâscoelastice* sau *elastovâscoase*.

Un corp supus la o solicitare continuu crescătoare poate să manifeste proprietățile de elasticitate și vâscozitate succesiv, caz în care corpul se numește *plastic*. Sub acțiunea unei forțe corpul plastic va curge ca un fluid dacă forța depășește o valoare critică. Toate corpurile plastice, la solicitări mici, sunt elastice sau rigide, corespunzând stării solide, iar peste valoarea critică a solicitării apare curgerea vâscoasă, specifică stării lichide.

Unele corpuri solide sau lichide, cele cu proprietăți vâscoelastice, prezintă fenomenele de fluaj și relaxare. Dacă asupra unui corp acționează o tensiune constantă și acesta nu se deformează instantaneu sau cu viteză constantă, ci prezintă deformații dependente de timp, fenomenul poartă numele de *fluaj*. Tensiunea necesară pentru menținerea unui corp vâscoelastic la deformația constantă scade lent în timp, iar corpul manifestă fenomenul de *relaxare*.

1.2.2.4.1. Corpuri cu comportare ideală

Cele mai simple corpuri studiate de reologie sunt corpurile care posedă o singură proprietate, numite *corpuri cu comportare ideală, corpuri cu proprietăți unitare*

sau *corpuri reologice particulare*:

- solidul lui Hooke, perfect elastic;
- fluidul lui Newton, pur vâscos;
- plasticul lui St. Venant, perfect plastic.

Corpul perfect elastic sau solidul lui Hooke, răspunde la o forță exterioară aplicată brusc printr-o deformare elastică, revine la forma inițială după îndepărtarea forței care a produs-o, corpul posedând numai elasticitate. Ecuația reologică sau legea lui Hooke, reprezintă relația între efortul unitar și deformare [3].

Comportarea corpului elastic supus la forfecare simplă este descris de relația

$$\tau = G\gamma, \tag{1.15}$$

în care: τ este efortul unitar de forfecare, γ este lunecarea specifică, iar G este modulul de lunecare sau modulul de elasticitate transversală. Reograma solidului lui Hooke solicitat la forfecare simplă este reprezentată de o dreaptă a cărei pantă este o măsură a modulului de elasticitate (*fig.1.23*).

Corpul perfect vâscos sau fluidul lui Newton, opune o rezistență la deformare datorită vâscozității. Corpul posedă numai vâscozitate. Ecuația reologică reprezintă o dependență între efortul unitar de forfecare τ și viteza de forfecare sau reopanta $\dot{\gamma}$.

Ecuația care descrie comportarea unui asemenea corp este cunoscută ca ecuația lui Newton

$$\tau = \eta\,\dot{\gamma}, \tag{1.16}$$

în care: η este coeficientul vâscozității de forfeecare. Reograma fluidului newtonian se prezintă ca în *fig.1.24*.

Corpul perfect plastic sau plasticul St. Venant posedă numai plasticitate, fiind necesar un efort limită τ_0 pentru deformare, care este nelimitată și ireversibilă, viteza de forfecare putând lua valori între 0 și infinit. Ecuația reologică a plasticului St. Venant este

$$\tau = \tau_0, \tag{1.17}$$

iar reograma se prezintă ca în *fig.1.25*.

1.2.2.4.2. Fluide vâscoase nenewtoniene

În practica industrială se întâlnesc fluide care prezintă o comportare nenewtoniană. La aceste fluide, în condiții izoterme, dependența tensiune-viteză este neliniară, iar vâscozitatea nu este constantă, depinzând de parametrii solicitării. Aceste fluide se numesc *fluide nenewtoniene*. Fluidele vâscoase nenewtoniene se împart în două categorii: fluide independente de timp și fluide dependente de timp.

Fluidele nenewtoniene indepedente de timp se caracterizează prin aceea că viteza

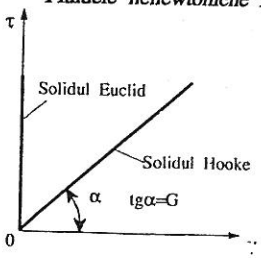


Fig.1.23. Reograma solidului lui Hooke.

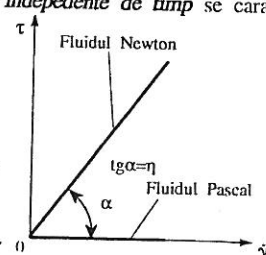


Fig.1.24. Reograma fluidului lui Newton.

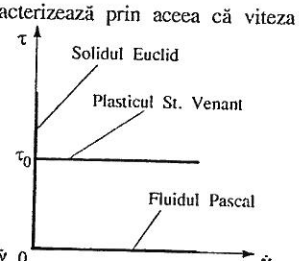


Fig.1.25. Reograma plasticului St. Venant.

de forfecare dintr-un punct dat este exclusiv dependentă de tensiunea de forfecare din acel punct.

Fluidele pseudoplaste sunt fluide care posedă vâscozitate dependentă de structură. Asupra moleculelor prin fluidul pseudoplastic acționează tensiunea de forfecare și mișcarea browniană. La viteze mici de forfecare determinantă este mișcarea browniană, iar creșterea vitezei de forfecare nu produce modificări de structură.

Fluidele dilatante sunt fluide la care în condiții izoterme vâscozitatea crește cu viteza de forfecare. Aceste fluide manifestă fenomenul de îngroșare.

Din categoria fluidelor pseudoplastice fac parte soluțiile de polimeri, adezivii, grăsimile, soluțiile de acetat de celuloză, etc.

Comportarea dilatantă apare la soluțiile de concentrație mare (pastă de amidon, mortare) dar nu se exclude la unele concentrate de polimeri.

Fluidele nenewtoniene dependente de timp au vâscozitate dependentă de parametrii solicitării. Aceste fluide solicitate la forfecare suferă modificări lente de structură. Comportarea acestor fluide depinde de istoria solicitărilor (solicitări la care a fost supus fluidul înaintea experimentului actual). Comportarea dependentă de timp se datorește proceselor de modificare a structurii prin forfecare.

1.2.2.4.3. Corpuri cu proprietăți multiple

Corpurile reale posedă proprietăți multiple asociate (vâscozitate, elasticitate, plasticitate) în diverse proporții. Astfel corpurile pot fi: vâscoplastice, vâscoelastice, elastoplastice, iar unele dintre ele vâscoelastoplastice. Din categoria corpurilor elastoplastice fac parte metalele. Aceste corpuri supuse la solicitări simple, până la o anumită limită, se deformează elastic. Materialele polimerice prezintă proprietăți vâscoplastice și vâscoelastice.

1.2.2.4.4. Corpuri vâscoplastice

Materialele vâscoplastice se mai numesc și *plastice* sau fluide cu prag de tensiune. Curgerea acestor corpuri nu începe decât atunci când tensiunea tangențială atinge o anumită valoare τ_0, numită prag de tensiune. În domeniul tensiunilor $\tau < \tau_0$, materialul se comportă ca un solid, iar pentru $\tau \geq \tau_0$, materialul se comportă ca un lichid vâscos.

Comportarea vâscoplastică se explică printr-o structură tridimensională ce este capabilă să împiedice curgerea la valori ale tensiunii tangențiale mai mici decât pragul de tensiune. Comportarea vâscoplastică se întâlnește la unele topituri de polimeri, nămoluri de foraj, ciment, pastă de hârtie, etc.

1.2.2.4.5. Corpuri vâscoelastice

Corpurile reale supuse solicitărilor, înmagazinează o parte din energie, iar o parte o disipează. După descărcare deformația este parțial recuperată. Aceste corpuri cu proprietăți multiple sunt simultan vâscoase și elastice, ele numindu-se *vâscoelastice*.

Toate corpurile vâscoelastice manifestă comportări care depind de timp. Răspunsul unui astfel de material depinde de proprietățile sale, de scara de timp a experienței, precum și de istoria solicitării. Modificarea scării de timp a experienței poate face ca un material să manifeste două comportări complet diferite.

Corpurile vâscoelastice pot fi solide sau fluide. *Solidele vâscoelastice* sunt acele corpuri care sub acțiunea solicitărilor se manifestă ca un solid. Comportarea vâscoelastică

a solidelor se pune în evidență prin experiențele de fluaj și relaxare.

Din categoria *fluidelor vâscoelastice* fac parte acele corpuri care sub acțiunea solicitărilor se manifestă preponderent ca un fluid. Comportări vâscoelastice au soluțiile și topiturile de polimeri. Cercetarea comportării vâscoelastice a fluidelor se face cu ajutorul experiențelor de relaxare.

1.2.2.4.6. Comportarea reologică a topiturilor de polimeri

În procesele de prelucrare a termoplastelor, inclusiv în prelucrarea prin injectare, au loc deformații însoțite de modificări structurale și de variația proprietăților reologice.

Comportarea reologică a fluidelor reale și deci și a termoplastelor se prezintă în reograme care redau dependența dintre efortul unitar de forfecare și reopanta $\dot{\gamma}$ (gradient de viteză). Aceste reograme se obțin din experimente de forfecare simplă a fluidelor. Curbele $\dot{\gamma} = f(\tau)$ se numesc și *curbe de fluiditate*. Pornind de la aceste curbe se poate calcula vâscozitatea în fiecare punct al curbei.

Fig.1.26 și *fig.1.27* prezintă curbele de fluiditate pentru polistiren standard și polistiren rezistent la șoc.

Complexitatea și varietatea comportării reologice a materialelor termoplastice poate fi intuită prin considerarea multiplilor factori care o influențează. Printre cei mai importanți sunt: temperatura, scara timpului de deformare, masa molară și distribuția masei molare, structura monomerului și polimerului, etc.

Vâscozitatea topiturilor de polimer este influențată de un număr mare de factori printre care cei mai importanți sunt: masa molară, temperatura, presiunea, materialele auxiliare. Topiturile de polimer se comportă nenewtonian dacă masa lor moleculară depășește 5000. Creșterea masei molare determină o creștere a vâscozității, din cauză că energia de activare se mărește o dată cu creșterea masei elementelor ce iau parte la curgere. Când masa moleculară a atins o anumită valoare, lanțul macromoleculei se încâlcește și elementele de curgere rămân de lungime aproximativ constantă. Aceasta rezultă din faptul că o creștere în continuare a masei moleculare nu mai modifică energia de activare a curgerii.

La mase moleculare egale, polimerii ramificați au vâscozitatea mai mică decât polimerii

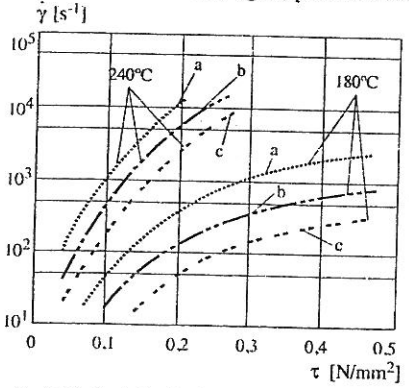


Fig.1.26. Curbele de fluiditate $\dot{\gamma}=f(\tau)$ pentru polistiren standard înregistrate la 180°C și 240°C (a - Hostyren N 3000; b - Hostyren N 4000; c - Hostyren N 7000).

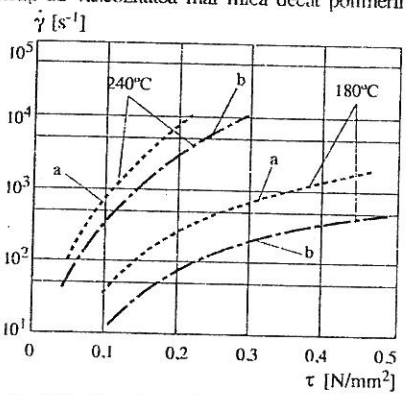


Fig.1.27. Curbele de fluiditate $\dot{\gamma}=f(\tau)$ pentru polistiren rezistent la șoc înregistrate la 180°C și 240°C (a - Hostyren S 3200; b - Hostyren S 5400).

liniari, deoarece o macromoleculă filiformă se va putea găsi simultan în straturi cu viteze diferite. Vâscozitatea depinde de viteza de forfecare (reopantă) în funcție și de distribuția masei moleculare a polimerului. O distribuție îngustă a maselor moleculare înseamnă molecule cu dimensiuni apropiate, iar o distribuție largă înseamnă că lungimile moleculelor variază între limite mai largi.

Vâscozitatea topiturilor depinde și de temperatură, cu importanță mare asupra proprietăților tehnologice ale polimerului, deoarece sensibilitatea vâscozității la temperatură determină nu numai alegerea regimului de prelucrare ci și calitatea produselor obținute.

Odată cu creșterea temperaturii apare posibilitatea trecerii macromoleculei dintr-o stare de echilibru în alta, datorită energiei de activare. Ca urmare, dependența vâscozității față de temperatură se poate exprima printr-o ecuație exponențială în funcție de energia de activare a curgerii vâscoase

$$\eta = Ae^{\frac{E}{RT}}, \qquad (1.18)$$

unde: A este un termen de frecvență; R, constanta gazelor; T, temperatura; E, energia de activare.

Odată cu creșterea presiunii, se micșorează distanțele intermoleculare, se măresc forțele de atracție dintre molecule și în consecință vâscozitatea crește. În condițiile de lucru specifice prelucrării prin injectare, vâscozitățile materialelor termoplastice cresc. Funcția vâscozitate-presiune este o funcție exponențială.

Variația vâscozității în funcție de temperatură depinde și de structura polimerului, datorită configurației diferite a elementelor de curgere pentru fiecare polimer.

Comportarea reologică poate fi modificată prin adăugarea unor materiale auxiliare. Solicitările termomecanice, ca număr și intensitate, afectează vâscozitatea topiturilor de materiale termoplaste. Odată cu mărirea numărului de prelucrări succesive, vâscozitatea aparentă (raportul dintre tensiune și viteza de deformare) crește.

Indicele de curgere („melt index") este o mărime ce caracterizează comportarea la curgere a diferiților polimeri în stare topită. Determinarea se face pe aparate la o anumită presiune și temperatură, pentru cantitatea de material plastic care curge printr-un ajutaj (capilar) într-un timp determinat (în general 10 minute). În practică, indicele de curgere I_c este utilizat ca bază pentru alegerea procedeului de prelucrare.

Materialele cu același indice de curgere pot avea caracteristici de prelucrare diferite. În consecință I_c nu reprezintă un criteriu de comparație a prelucrabilității materialelor plastice.

Curgerea fluidelor nenewtoniene prin dispozitive cu secțiune inelară, plăci paralele, orificii circulare are mare importață pentru procedeul de prelucrare prin injectare.

În cazul topiturilor din material termoplastic, la prelucrarea prin injectare, poate fi întâlnită: curgerea laminară, curgerea turbulentă și curgerea în domeniul de tranziție de la laminar la turbulent.

Apariția curgerii turbulente sau a curgerii nestaționare, se datorește faptului că oscilațiile elastice ale mediului devin atât de intense încât nu mai pot fi amortizate de frecarea vâscoasă. Perturbația curgerii care duce la apariția curgerii nestaționare poate fi provocată de: perturbația profilului de viteze la intrarea într-o capilară sau ajutaj, lungimea capilarei sau ajutajului, natura și rugozitatea suprafeței capilarei sau ajutajului.

În procesul de curgere nenewtonian apare fenomenul de transfer de căldură, atât în curgerea laminară, cât și în cea turbulentă. Transferul termic este preponderent convectiv, fiind influențat de curgere, iar curgerea depinde de comportarea reologică a topiturii. Ecuațiile de transfer de căldură prin convecție, depind de geometria spațiului de curgere, de condițiile limită, etc.

1.2.2.5. Proprietăţi electrice şi optice

1.2.2.5.1. Proprietăţi electrice

Din punct de vedere electric toate materialele termoplastice sunt izolatori. Această proprietate se datorește structurii fizice şi morfologice a polimerilor şi este influențată de impuritățile materialelor auxiliare prezente în materialul termoplastic. Proprietățile izolatoare sunt independente de tensiunea electrică la tensiuni joase şi dependente de tensiunea electrică la tensiuni ridicate.

La tensiuni relativ mici proprietățile electrice se descriu cu ajutorul următoarelor mărimi fizice:

- permeativitatea sau constanta dielectrică;
- factorul de pierderi dielectrice şi factorul de putere;
- rezistivitatea de volum şi rezistivitatea superficială.

Constanta dielectrică sau ***permeativitatea dielectrică*** este o mărime care arată de câte ori forţa de interacţiune a două sarcini este mai mică, în mediul dat, comparativ cu vidul. Constanta dielectrică se defineşte şi prin raportul între capacitatea unui condensator ce are între plăci dielectricul dorit, C şi capacitatea aceluiaşi condensator între plăcile căruia se află vid C_0

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0}, \tag{1.19}$$

unde ε_r este permeativitatea relativă.

Rigiditatea dielectrică reprezintă gradientul de potenţial maxim pe care-l suportă un dielectric fără a se produce străpungerea lui. *Tab.1.5* prezintă constanta dielectrică şi rigiditatea pentru câteva materiale termoplaste. Constanta dielectrică este dependentă de temperatura la care se află dielectricul (*fig.1.28*).

În dielectric au loc acumulări de energie electrică ca urmare a orientării dipolilor permanenţi ai acestuia sau a celor temporari (formaţi în timpul acţiunii câmpului electric). Atât formarea dipolilor temporari, cât şi orientarea celor permanenţi, dau naştere la fenomene caracteristice care se accentuează odată cu creşterea intensităţii câmpului electric şi constituie fenomenul numit *polarizarea dielectricilor.*

Factorul de pierdere dielectrică reprezintă partea din energia câmpului exterior care se disipează ireversibil în dielectric. Dacă la un condensator cu dielectric nepolar se aplică un curent alternativ de tensiune U, atunci intensitatea devansează tensiunea cu un unghi de 90°, în acest caz neproducându-se pierderi.

Tab.1.5. **Constanta dielectrică şi rigiditatea pentru diferite materiale termoplaste comparativ cu alte substanţe.**

Materialul	Constanta dielectrică	Rigiditatea dielectrică [kV/mm]
Vid	1,00000	-
Aer	1,00054	0,8
Apă (25°C)	78,5	-
Hârtie	3,5	14
Porţelan	6,5	4
Sticlă de cuarţ	3,8	8
Polietilenă	2,3	50
Polistiren	2,6	25
Politetrafluoretilenă	2,1	60
Poliamidă	3,5	-

Pentru substanţele polare, la frecvenţe joase, polarizarea temporară (deorientare) este în fază cu potenţialul. Cu cât creşte frecvenţa, la un moment dat rotirea dipolilor nu poate urma variaţia potenţialului şi ca urmare se produce un decalaj de fază φ, între vectorul curentului total I, şi vectorul diferenţă de potenţial U. O parte din energia câmpului se absoarbe şi se transformă în căldură, această energie fiind proporţională cu frecvenţa câmpului şi tangenta unghiului decalajului de fază δ. Unghiul δ se numeşte *unghiul de pierderi dielectrice.*

Reprezentarea în diagramă a dependenţei *I-U* pentru un material polar supus unui câmp electric alternativ este reprezentată în *fig.1.29.* Mărimea pierderilor dielectrice este dată prin relaţia

$$tg\delta = \frac{I'}{I''} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}, \tag{1.20}$$

în care: I'şi I'' sunt componentele pe abscisă şi ordonată de vectorul I, iar ε' este constanta dielectrică şi ε'' factorul de pierderi dielectrice.

În *fig.1.30* este prezentat cazul variaţiei factorului de pierderi dielectrice în funcţie de temperatură pentru diferite materiale. Pentru materiale plastice $tg\delta$ = 0,000005...0,3.

Factorul de putere al dielectricului, reprezintă raportul dintre puterea disipată în material şi produsul dintre tensiunea (potenţialul) şi curentul efectiv aplicat şi se exprimă prin relaţia (*fig.1.29*)

$$F_p = \frac{I'}{I} = \cos\varphi\,. \tag{1.21}$$

Factorul de putere pentru câteva materiale termoplastice rezultă din *tab.1.6.* Datorită valorii mici a factorului de putere, polietilena şi polistirenul se utilizează ca izolatoare electrice la frecvenţe ridicate.

Rezistivitatea de volum reprezintă raportul dintre gradientul pe direcţia curgerii curentului în material corespunzător tensiunii aplicate şi densitatea de curent. Se măsoară în Ωm.

Rezistivitatea depinde de durata cât materialul este supus câmpului electric. Aceasta se poate exprima

$$\rho_V = R_V \frac{S}{h}, \tag{1.22}$$

unde: S este secţiunea transversală a dielectricului; h este grosimea izolaţiei; R_V este rezistenţa de volum.

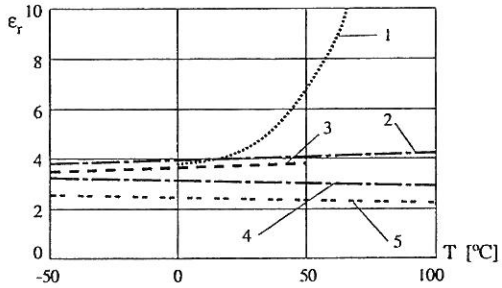


Fig.1.28. Constanta dielectrică a câtorva materiale termoplastice în funcţie de temperatură (10^5 Hz): 1 - poliamidă; 2 - poliacetal (Hostaform); 3 - polistiren; 4 - policarbonat; 5 - polietilenă de înaltă densitate.

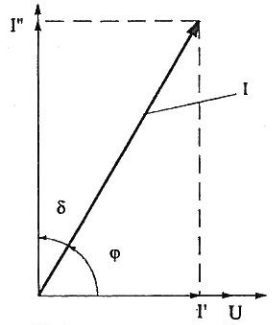


Fig.1.29. Reprezentarea în diagramă a dependenţei *I-U* pentru un material polar supus unui câmp electric alternativ; φ - unghi de fază.

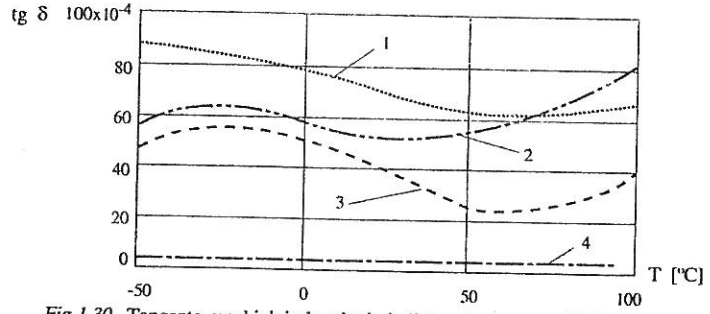


Fig.1.30. Tangenta unghiului de pierderi dielectrice pentru diferite materiale termoplastice în funcție de temperatură (10^5Hz):
1 - policarbonat; 2 - polistiren rezistent la șoc; 3 - poliacetal (Hostaform); 4 - polietilenă de înaltă densitate.

Tab.1.6. **Valori ale factorului de putere pentru câteva materiale termoplastice.**

Material	n
Politetrafluoretilenă	sub 1,4
Poliformaldehidă	1,41
Policlortrifluoretilenă	1,43
Polivinilacetat	1,45...1,50
Acetat de celuloză	1,47...1,50
Copolimer E.V.A.	1,482...1,485
Polipropilenă	1,49
Polimetacrilat	1,49
Poliamidă (11 și 6.10)	1,52
Policarbonat	1,585
Polistiren	1,59

Rezistivitatea de volum reprezintă capacitatea polimerului de a se opune trecerii curentului electric.

Rezistivitatea superficială reprezintă raportul dintre gradientul tensiunii aplicate (paralel cu direcția scurgerii curentului de-a lungul suprafeței) și curentul pe unitatea de lățime a suprafeței. Se măsoară în ohmi. Rezistivitatea de suprafață ρ_S se exprimă

$$\rho_S = R_S \frac{b}{l}, \qquad (1.23)$$

unde: b este lungimea electrozilor; l este distanța dintre electrozi; R_S este rezistența de suprafață.

Rezistența de suprafață R_S exprimă capacitatea polimerului de a se opune trecerii sarcinilor electrice pe suprafața sa.

Fenomene electrostatice și conductivitate electrică. Prezența sarcinilor electrostatice în material și pe suprafața materialului se recunoaște prin atracția sau respingerea reciprocă dintre acesta și alte suprafețe, însoțite de scântei de descărcare electrostatică sau de atragerea particulelor de praf. Prezența sarcinilor electrostatice pe suprafața pieselor injectate este nedorită.

Există posibilitatea neutralizării sarcinii electrostatice prin:

- aducerea la suprafața materialului plastic a unei cantități adecvate de sarcini de semn opus;
- reducerea corespunzătoare a rezistivității superficiale astfel ca sarcinile electrostatice să se scurgă în altă parte;
- prin izolarea și eliminarea mecanismului intern care produce încărcarea electrostatică.

Pentru cazul în care sarcinile electrostatice determină acumularea prafului pe suprafața piesei injectate, se introduce în material un aditiv antistatic care migrează către suprafața piesei, determinând reducerea rezistivității superficiale. Dacă piesa injectată lucrează într-un mediu periculos exploziv, se folosesc materiale termoplastice cu rezistivitate de volum și superficială mică, materiale plastice cu calități antistatice.

1.2.2.5.2. Proprietăți optice

Comportarea optică a materialelor termoplastice este de mare importanță practică în obținerea unor piese injectate folosite ca ambalaje transparente, lentile cu destinație diversă, etc.

Proprietățile optice caracterizează modul de comportare al materialelor plastice la interacțiunea cu radiațiile electromagnetice.

Radiațiile electromagnetice care cad pe suprafața unei piese injectate pot fi reflectate, refractate, absorbite sau transmise.

Reflexia. Fenomenul de reflexie al radiațiilor electromagnetice are loc la suprafața de separare dintre două medii (*fig.1.31*).

Raza incidentă și raza reflectată se află în același plan, iar unghiurile de incidență i și de reflexie r sunt egale. Numai o parte din energia incidentă este reflectată pe material. Razele de lumină sunt partial reflectate, parțial refractate și partial împrăștiate. Procentul de energie reflectată depinde de material, de rugozitatea suprafeței și de unghiul de incidență. În cazul unei piese injectate, o suprafață foarte lucioasă a cuibului matriței, obținută prin lustruire și cromare, determină obținerea unei piese cu rugozitate mică, deci cu reflexie bună.

Refracția. Radiațiile electromagnetice care pătrund dintr-un mediu (aer) în alt mediu (placă din material termoplastic) sunt deviate de la direcția de incidență, fenomen ce poartă numele de *refracție* (*fig.1.32*).

Refracția se exprimă printr-o mărime numită *indice de refracție* n și este definită ca raport al vitezei luminii în cele două medii sau ca raport între sinusul unghiului de incidență i și sinusul unghiului de refracție r

$$n = \frac{C_1}{C_2} = \frac{\sin i}{\sin r}, \qquad (1.24)$$

unde C_1 este viteza luminii în materialul plastic, iar C_2 este viteza luminii în aer sau vid.

Valoarea indicelui de refracție depinde de lungimea de undă a razei incidente, deci și de energia acesteia. Odată cu mărirea lungimii de undă a razei incidente se micșorează energia razei incidente, deci și a celei refractate. Valoarea indicelui de refracție este în corelație strânsă cu densitatea polimerului. Faza cristalină a unui polimer are un indice mediu de refracție mai mare decât faza amorfă a aceluiași polimer. Indicele de refracție variază de asemenea cu temperatura.

Anizotropia structurală a materialelor termoplastice face ca indicele de refracție să depindă de direcția de propagare a luminii. Diferența indicilor de refracție pe două direcții perpendiculare se poate măsura, valoarea maximă a acestei diferențe numindu-se *birefrigerență*. Birefrigerența depinde de orientarea lanțurilor macromoleculare care sunt anizotrope din punct de vedere optic.

Transparența și absorbția. *Transparența* reprezintă o caracteristică a materialelor plastice

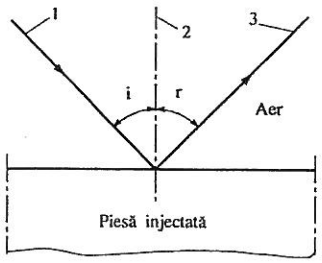


Fig.1.31. Reflexia luminii la suprafaţa unei piese injectate din material termoplastic: 1 - raza incidentă; 2 - normala la suprafaţa celor două medii; 3 - raza reflectată.

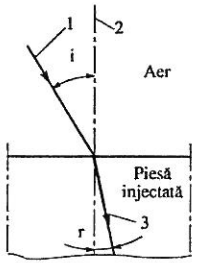


Fig.1.32. Refracţia luminii într-o piesă injectată din material plastic: 1 - raza incidentă; 2 - normala la suprafaţa celor două medii; 3 - raza refractată.

care arată ce fracţie din fluxul luminos ce cade asupra sa trece fără a-şi modifica direcţia. Corpurile la care radiaţiile reflectate şi absorbite sunt neglijabile faţă de cele transmise se numesc *transparente*.

Un polimer care absoarbe toate radiaţiile din spectrul vizibil apare negru dacă absorbţia este uniformă. Polimerul care absoarbe doar anumite radiaţii din spectrul vizibil, va fi colorat în culoarea radiaţiei absorbite. Fenomenul de absorbţie al radiaţiilor electromagnetice depinde de natura şi structura polimerului şi de lungimea de undă a radiaţiei folosite.

Transparenţa unui material termoplastic depinde de omogenitatea optică a acestuia, atât superficială cât şi de volum. Cristalinitatea mai mare a unui polimer, deci o suprafaţă mai lucioasă, are ca efect fenomenul de „ceaţă" datorită difuziei luminii şi ca rezultantă o transparenţă mai mică. Numai o cristalinitate scăzută asigură o transparenţă bună. Materialele termoplastice amorfe îndeosebi, sunt potenţial transparente dacă sunt omogene (de exemplu: polimetacrilatul şi polistirenul).

Polistirenul, în special cel obţinut prin polimerizare în bloc, prezintă o transparenţă mare, motiv pentru care tipurile de polistiren puţin aditivate se numesc „cristal" (*fig.1.33*).

Absenţa omogenităţii optice, respectiv variaţia indicelui de refracţie, determină aberaţii ale imaginii, prin pierderea clarităţii şi diminuarea contrastului imaginii ca urmare a împrăştierii unei părţi a radiaţiei incidente.

Claritatea este măsura capacităţii materialului transparent de a permite observarea detaliilor obiectului pe imaginea transmisă prin el. Claritatea este perfectă numai atunci când lumina nu este împrăştiată. Claritatea depinde de calitatea piesei injectate şi de multiplii factori ai regimului de prelucrare. Transparenţa ridicată a unor materiale termoplastice a determinat utilizarea lor la obţinerea prin injectare a lentilelor optice.

1.3. Degradarea materialelor termoplastice

Sub acţiunea factorilor fizici şi chimici materialele termoplastice prezintă un anumit grad de instabilitate, modificându-şi mai mult sau mai puţin aspectul exterior, masa, dimensiunile, proprietăţile mecanice sau electrice. Instabilitatea acestor materialelor este cunoscută sub denumirea de degradarea materialelor termoplastice [2, 21, 22, 26, 31, 71].

Gradul de degradare depinde în principal de:

- natura polimerului, structura lui fizică şi chimică;

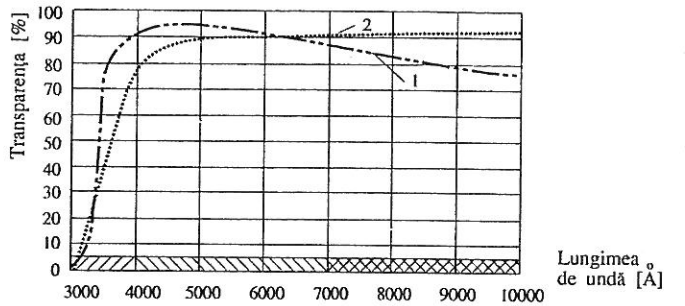


Fig.1.33. Transparenţa polistirenului comparativ cu a sticlei în diferite spectre de lumină: 1 - sticlă normală, grosimea 2,88 mm; 2 - polistiren, grosimea 5,11 mm.

- urme de iniţiatori, catalizatori, agenţi activi de suprafaţă;
- prezenţa în masa materialului a substanţelor mic moleculare;
- natura şi stabilitatea ingredienţilor adăugaţi la prelucrare;
- condiţiile de prelucrare;
- condiţiile de exploatare.

Factorii care influenţează degradarea materialelor termoplastice sunt:

- factorii fizici (căldura, lumina, solicitări mecanice, ultrasunete, radiaţii cu energie mare);
- factorii chimici (reacţii cu: oxigenul, ozonul, gazele din atmosferă, agenţi chimici diverşi).

1.3.1. Degradarea sub acţiunea căldurii

Prelucrarea prin injectare a materialelor plastice impune încălzirea materialului la temperatura de prelucrare. Căldura singulară sau în conjuncţie cu oxigenul cauzează degradarea cea mai importantă a materialelor termoplastice.

Degradarea termică a materialului termoplastic poate avea loc în absenţa sau în prezenţa oxigenului. În procesul de degradare principalul produs de degradare este monomerul.

Temperatura de degradare termică este influenţată de durata de reţinere a materialului plastic la temperatura respectivă (*fig.1.34*).

Temperatura la care începe degradarea termică a unui material termoplastic depinde de viteza creşterii temperaturii de prelucrare. Durata până la degradarea materialului termoplastic scade cu mărirea duratei îmbătrânirii artificiale a acestuia.

Adaosul de substanţe auxiliare specifice (stabilizatori, lubrifianţi, etc.), permite în anumite limite mărirea valorii la care începe degradarea termică a materialului plastic.

Acţiunea oxigenului este una din cele mai importante reacţii de degradare a materialelor termoplastice, atunci când acestea sunt expuse în atmosferă. Atmosfera poate fi prezentă atât la prelucrarea prin injectare, la stocarea materialelor, precum şi în aplicaţii (piese injectate în regim de temperatură ridicată).

Absorbţia de oxigen începe după un anumit interval de timp denumit *perioadă de inducţie*, de la care concentraţia în grupe peroxid creşte până la maxim, perioadă numită *stadiul autocatalitic*. În stadiul de descompunere, cantitatea de peroxizi descreşte (*fig.1.35*).

Degradarea materialelor plastice în prezenţa oxigenului are următoarele caracteristici:

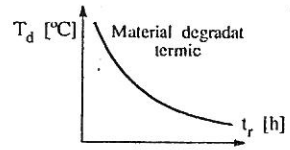


Fig.1.34. Dependența temperaturii de degradare termică T_d al unui material termoplastic de timpul de reținere t_r.

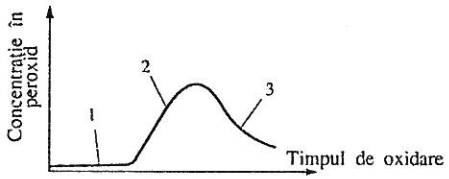


Fig.1.35. Diagrama absorbției de oxigen la degradare termooxidativă a polimerilor: 1 - perioada de inducție; 2 - stadiul autocatalitic; 3 - stadiul de descompunere.

- creșterea temperaturii duce la creșterea vitezei de absorbție a oxigenului;
- lungimea perioadei de inducție depinde de structura și starea fizică a polimerului, mărimea particulelor, densitate;
- la o cantitate dată de polimer, absorbția de oxigen este proporțională cu suprafața și descrește odată cu creșterea grosimii;
- viteza de absorbție este funcție de difuzia oxigenului în polimer;
- cantitatea de oxigen absorbit în timpul oxidării termice este invers proporțională cu gradul de cristalinitate al polimerului;
- oxidarea este influențată de gradul de ramificare al polimerului; un polimer ramificat este mai ușor oxidat;
- solicitările mecanice au un efect accelerator de oxidare, efect dependent de natura și mărimea solicitărilor.

În urma degradării termice în prezența oxigenului polimerii suferă transformări structurale care influențează negativ proprietățile mecanice, chimice si electrice.

1.3.2. Degradarea sub acțiunea agenților chimici

Agenții chimici din mediul înconjurător sau din exploatare (acizi, baze, solvenți, adezivi, vopsele, etc.) atacă materialele termoplastice printr-un proces de degradare în general ireversibil. În cazul degradării materialelor termoplastice sub acțiunea agenților chimici, se ia în considerare în primul rând procesul fundamental de permeativitate a materialului față de reactant: acțiunea reactantului asupra suprafeței, dizolvarea pe suprafață și migrarea în material.

Rezistența materialelor termoplastice la principalele clase de agenți chimici, se poate urmări în *tab.1.7.* Rezistența materialelor plastice la agenți chimici este o caracteristică a materialelor în stare de repaos. Efectul de degradare termică variază în funcție de natura agentului chimic coroziv, temperatură, concentrație, presiune, etc.

În condițiile de exploatare într-un mediu chimic activ piesele injectate din materiale termoplastice pot fi supuse unor solicitări mecanice. Acțiunea simultană a agentului chimic, a solicitării mecanice, precum și a solicitărilor interne ca urmare a prelucrării, pot determina distrugeri mai rapide a piesei injectate. Existența tensiunilor interne și a solicitărilor mecanice, determină la unele materiale termoplastice apariția unor microfisuri care permit pătrunderea agenților chimici activi și care propagă distrucția mai rapidă a piesei injectate.

Aprecierea comportării în exploatare a pieselor injectate într-un mediu chimic activ trebuie să țină seama și de influența agentului chimic asupra plastifiantului sau umpluturilor. Chiar în cazul în care polimerul, ca atare, este rezistent se poate ca plastifianții sau alți ingredienți sub acțiunea agentului chimic să-și modifice proprietățile determinând schimbarea comportării piesei injectate în exploatare.

1.3.3. Degradarea la lumină

Expunerea la lumina solară a pieselor injectate din materiale termoplastice în perioada de exploatare sau stocare, are ca efect degradarea fotochimică evidențiată prin schimbarea proprietăților fizico-mecanice, modificări de natură chimică, modificarea proprietăților electrice, modificarea proprietăților optice.

Fotodegradarea produce o schimbare a coloratiei, schimbare de culoare însoțită în multe cazuri de fisurarea feței materialului, uneori sfărâmarea lui. Fotodegradarea schimbă proprietățile electrice prin modificarea constantei dielectrice, rezistivitatea de volum, etc., în sensul înrăutățirii acestor caracteristici. Fotodegradarea se produce ca urmare a acțiunii radiațiilor ultraviolete asupra legăturilor chimice pe care le exercită.

Dacă acțiunea radiațiilor se exercită și în prezența oxigenului, atunci materialul termoplastic suferă o fotooxidare.

1.3.4. Degradarea la foc

Expuse la acțiunea flăcării, materialele termoplastice ard. Temperaturile de inițiere ale arderii sunt în funcție de structura chimică, astfel încât unii polimeri ard mai greu.

Tab.1.7. **Rezistența materialelor plastice la principalele clase de agenți chimici.**

Polimeri	Apă	Soluții de săruri	Acizi slabi	Acizi tari	Baze slabe	Baze tari	Solvenți: Hidocarburi alifatice	Hidocarburi aromatice	Hidocarburi halogeratice	Alcooli	Cetone
Polietilenă	1	1	1	1	1	1	3[x]	3	3	2	2
Polipropilenă	1	1	1	1	1	1	3[x]	3	3	2	2
Polistiren	1	1	1	1...2	1	1	3[x]	5	5	1	4...5
ABS	1	1	2	2...3	1	2	2[x]	2...3	3...4	2	4
SAN	1	1	1	2	1	1	1...2[x]	2...3	-	1...2	5
PVC	1	1	1...2	1...2	1...2	1...2	1...2	3	3...4	1	4...5
Policlorură de viniliden	-	-	1	2	1	2	1	3...4	4	1	4
Politetrafluoretilenă	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Politrifluorcloretilenă	1	1	1	1	1	1	1	1	1...2	1	1
Polieteri	-	-	2	2...4	2...3	2...4	2	3	4	3	3
Polimetacrilat de metil	2	1	1	3	1	3	2[x]	5	5	1	5
Polioxinetilena	1	1	2	3	2	3	1	1	1	1	1
Policarbonați	1	1	1	2	3	3...4	3[x]	4	4	3	5
Acetat de celuloză	-	-	2...3	5	3...4	5	3	3...4	4...5	4	4
Etilceluloză	-	-	2...3	4...5	1	1	2	3	4	4...5	5
Poliamide	2	2	4	5	1	1	1[x]	2	1...2	2	2

LEGENDĂ: *1. fără schimbări în aspectul exterior sau modificări ale proprietăților mecanice; 2. foarte slabe schimbări în aspectul exterior sau slabe modificări ale proprietăților fizico-mecanice; 3. câteva schimbări observabile ale aspectului și proprietăților; 4. schimbări și modificări însumate; 5. înmuieri sau slabă dizolvare;* [x]*. pericol de fisurare.*

Tab.1.8. Temperaturile de aprindere şi autoaprindere a unor polimeri termoplastici.

Polimer	Aprindere cu sursă externă [°C]	Autoaprindere [°C]
Polietilenă	341	349
Polipropilenă (fibre)	-	570
Politetrafluoretilenă	-	530
Policlorură de vinil	391	454
Polistiren	345...360	488...496
Copolimer SAN	366	454
Polimetacrilat de metil	280...300	450...462
Poliamida 66	421	424
Poliester cu fibră de sticlă	346...399	483...488

iar alţii mai uşor. În afară de polimeri ard şi unii aditivi care intră în componenţa materialelor termoplastice, cum sunt: lubrifianţi, plastifianţi, etc. [22].

În capitolul 1.6. se prezintă comportarea polimerilor termoplastici la flacără, iar în *tab.1.8* se dau temperaturile de aprindere şi de autoaprindere.

Pentru a împiedica sau reduce arderea polimerilor, este necesară cunoaşterea unor date legate de procesul de ardere, şi anume: caracterizarea zonelor de activitate a combustiei, etapele fizico-chimice ale procesului de ardere şi tehnicile posibile de reglare sau împiedicare a arderii.

1.3.5. Degradarea la radiaţii cu energie mare

Degradarea materialelor termoplastice la acţiunea radiaţiilor cu energie mare interesează la aplicaţiile pieselor injectate din aparatura care vine în contact cu astfel de radiaţii.

Principalele radiaţii cu energie mare sunt:

- radiaţii electromagnetice (raze X şi raze γ);
- raze β emise de unii izotopi radioactivi;
- protoni şi particule α care produc fenomene de ionizare şi excitaţii;
- alte surse de radiaţii.

Degradarea materialelor termoplastice în cazul iradierii cu energie mare se produce ca urmare a ionizării prin radiaţie, ionizarea iniţiind fenomenul de oxidare. Ca urmare a degradării, care se produce după depăşirea unei doze limită de iradiere, materialele termoplastice îşi schimbă culoarea şi devin casante.

În *fig.1.36* se prezintă variaţia deformaţiei cu sarcina la tracţiune pentru un poliacetal la diferite doze de iradiere.

Prin iradierea cu doze limitate de raze γ se poate realiza sterilizarea pieselor injectate care intră în componenţa aparaturii medicale.

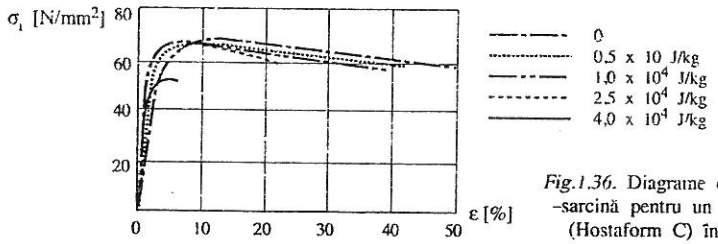


Fig.1.36. Diagrame deformaţie–sarcină pentru un poliacetal (Hostaform C) în funcţie de doza de iradiere.

1.3.6. Degradarea biologică

Majoritatea polimerilor termoplastici rezistă la atacul biologic, în special al microorganismelor (fungi şi bacterii). Dacă polimerilor, prin compoundare, li se adaugă unii aditivi, ca plastifianţi, materiale de umplutură sau alte materiale, ei pot fi atacaţi de microorganisme.

Degradarea materialelor termoplastice datorită atacului microorganismelor se manifestă prin pătare, decolorare, exudare şi sfărâmarea produsului, deteriorarea proprietăţilor mecanice şi electrice, etc.

Acţiunea microorganismelor este considerabil mărită în condiţii de umiditate ridicată şi temperaturi mari.

În *tab.1.9* se prezintă comportarea unor polimeri termoplastici la acţiunea microorganismelor.

1.3.7. Degradarea sub acţiunea mediului înconjurător

Degradarea sub acţiunea mediului înconjurător sau îmbătrânirea naturală este o însumare în timp a efectelor factorilor fizici şi chimici prezenţi în mediul înconjurător. Degradarea se manifestă prin schimbarea culorii iniţiale, modificarea proprietăţilor mecanice şi electrice.

1.3.7.1. Degradarea în atmosferă

Degradarea materialelor termoplastice în atmosferă se datorează efectelor însumate ale acţiunii luminii, căldurii, oxigenului, impurităţilor gazoase (oxizi de azot, oxizi de sulf) prezente în zonele industriale, umidităţii sau apei [71].

Datorită influenţei razelor ultraviolete, materialele suferă fenomenul de fotooxidare în prezenţa oxigenului. Tot sub influenţa razelor ultraviolete se produc transformări chimice în prezenţa oxizilor de azot, a bioxidului de sulf şi a ozonului.

Degradarea materialelor termoplastice sub acţiunea umezelii este efectul permeabilităţii lor la vapori şi apă. Permeabilitatea gazului la polimeri implică absorbţia de către polimeri a difuzatului, difuzia şi desorbţia pe partea cealaltă a filmului de polimer.

Tab.1.9. Rezistenţa polimerilor termoplastici la acţiunea microorganismelor.

Polimeri	Rezistenţa la acţiunea biologică
Polimeri celulozici	Rezistă parţial azotatul, acetatul nu rezistă. Cu plastifianţi rezistenţa scade.
Policarbonat	Rezistă bine.
Poliesteri termoplastici	Rezistă bine.
Polietilenă	Cu masă moleculară mică suportă orice atac. Cu masă moleculară mare rezistă.
Polipropilenă	Rezistă bine.
PVC	Este atacat când i se adaugă plastifianţi, stabilizatori, etc.
Policlorură de viniliden	Rezistă parţial.
Polistiren	Rezistă bine.

Capacitatea de difuzie a apei sau vaporilor de apă este proprietatea care definește permeabilitatea materialelor plastice fiind un factor important de alegere al unui material pentru anumite scopuri.

Polimerii polari se caracterizează printr-o absorbție activă, în timpul căreia moleculele de apă se deplasează către interior prin spațiile existente între macromolecule, numărul și mărimea spațiilor depinzând de temperatură. Polimerii nepolari sau slabi polari absorb umiditatea într-o proporție mai mică.

Unele materiale termoplastice hidrolizează în apă, iar altele se gonflează când sunt expuse la umezeală o perioadă lungă de timp. Umezeala pătrunde în material la diferite adâncimi producând degradări neuniforme.

Alternarea perioadelor de umezire-uscare are ca efect fisurarea materialului termoplastic, accentuând degradarea [2, 26, 71].

Suprafețele rugoase absorb umezeala mai mult decât suprafetele lucioase.

Umezeala absorbită și condensată pe izolația electrică duce la deteriorarea proprietăților electrice: scăderea rezistivității, creșterea constantei dielectrice, creșterea valorii tangentei unghiului de pierderi dielectrice, scăderea rigidității dielectrice, modificarea proprietăților mecanice ale izolațiilor.

În condițiile atmosferice materialele termoplastice rezistă diferit (*tab.1.10*).

1.3.7.2. Degradarea în mediu climatic

Materialele termoplastice care lucrează în condiții atmosferice sunt influențate de diverși factori de degradare, factori dependenți de poziția geografică, de condițiile meteorologice, de cele climatice [71].

Pe globul pământesc variația factorilor climatici este foarte mare, temperatura aerului variind de la -40°C la +55°C, umiditatea relativă de la 10% până peste 80%. Intensitatea efectelor distructive variază în funcție de climat și de ciclul anual.

Factorii climatici care determină degradarea materialelor termoplastice se pot prezenta astfel:

- variații de temperatură (căldură, frig);
- variații de umiditate (umed, uscat);
- variații atmosferice (presiune mare a aerului, presiune mică a aerului).

Factorii climatici mai pot fi:

- deșert (soare mult și praf);
- pădure tropicală (microorganisme, insecte);
- ocean sau mare (sare).

1.4. Acțiunea fiziologică

Majoritatea materialelor termoplastice nu au o acțiune toxică, cu excepția materialelor insuficient polimerizate sau policondensate în care se află molecule de monomeri sau de aditivi cu acțiune fiziologică [26].

Acțiunea toxică a materialelor termoplastice se urmărește pe trei planuri:

- în procesul de prelucrare prin injectare sau în aplicații când se ajunge la degradarea materialului termoplastic;

- în operațiile de stabilizare, protecție, colorare a polimerilor cu anumiți aditivi care pot prezenta nocivitate;
- la depozitarea și folosirea obiectelor injectate din material termoplastic.

1.4.1. Toxicitatea produselor degajate la injectarea materialelor termoplastice

Produsele care apar la degradarea sau descompunerea materialelor termoplastice, ca urmare a prelucrării prin injectare, sunt numeroase și variate în funcție de tipul materialului, de condițiile de descompunere, respectiv descompunerea polimerului.

Polistirenul la degradare dă naștere la stiren; vaporii de stiren sunt iritanți pentru ochi, nas, gât.

Lucrul îndelungat într-o atmosferă cu vapori de stiren produce amețeli, dureri de cap, slăbire generală, hepatită toxică.

Polietilena la temperaturi înalte se degradează, punând în libertate hidrocarburi, în special etilenă, apă, bioxid de carbon și chiar oxid de carbon.

Polimetacrilatul de metil la temperaturi ridicate se descompune, punând în libertate monomerul metacrilat de metil, care are o acțiune narcotică și toxică generală provocând astenie, cefalee, iritabilitate, somnolență, hipotensiune, arterită.

Policlorura de vinil la degradare degajă clor, respectiv acid clorhidric. Acidul clorhidric în stare de vapori este un iritant al mucoaselor, ochilor și căilor respiratorii, producând usturime, lăcrimare, răgușeală.

Poliacetalii se descompun la temperaturi ridicate, eliberând formaldehidă. Formaldehida produce o acțiune iritantă asupra pielii și mucoaselor, având acțiune și asupra sistemului nervos.

Poliamidele, la depășirea temperaturilor de prelucrare, pun în libertate compuși cum ar fi: caprolactama, derivați diaminici, amoniac. Caprolactama are un efect toxic convulsivant.

Tab.1.10. **Rezistența unor materiale termoplastice în condiții atmosferice.**

Materiale plastice	Rezistența	Materiale plastice	Rezistența
Polietilena j.d.	SR	Policlorura de viniliden	FR
Polietilena j.d. S	FR-R	Copolimer clorură de vinil	
Polietilena î.d.	SR	acetat de vinil	R
Polietilena î.d. S	FR-R	Polifluorura de vinil	FR
Polipropilena	SR	Polifluorura de viniliden	FR
Polipropilena S	R	Politrifluoretilena	FR
Polistiren	SR	Politetrafluoretilena	FR
Polistiren S	R	Polimetacrilat de metil	FR
Copolimer SAN	SR	Poliamide	SR
Copolimer ABS	SR	Poliuretani	SR
Copolimer ABS S	R	Policarbonat	R
Policlorura de vinil	R	Polietilentereftalat	SR
Policlorura de vinil S	FR-R	Polioximetilena	SR
Policlorura de vinil plastifiată	SR	Polisulfone	SR
Policlorura de vinil plastifiată S	R	Acetat de celuloză	R-SR

LEGENDĂ: *S - polimerul este stabilizat; FR - rezistent; R - mediu rezistent; SR - slab rezistent.*

1.4.2. Toxicitatea produselor degajate la ardere

Prin ardere materialele termoplastice produc mari cantități de gaze de ardere, gaze care sunt periculoase pentru sănătate [22, 26]. Arderea materialelor termoplastice este însoțită de degajarea unui fum dens, care conține în proporție mare particule de negru de fum, ce are influență asupra aparatului respirator. În funcție de acțiunea fiziologică, materialele termoplastice formează prin ardere trei tipuri de produse:

- inofensive (etan, propan, etc.) sau puțin ofensive (stiren);
- cu acțiune pronunțat iritantă (amoniac, amine, aldehide, acid acetic, acid clorhidric, etc.)
- cu acțiune foarte toxică (oxizi de carbon).

1.4.3. Acțiunea fiziologică a produselor injectate

Produsele realizate prin injectare au o destinație diversă: uz industrial, uz casnic, etc. Omul vine în contact cu obiectele injectate mai mult sau mai puțin, în funcție de destinația acestora. Acțiunea fiziologică a produselor injectate este diferită în funcție de destinația acestora. Contactul cu articolele cu utilizare industrială prezintă pericol într-o mai mică măsură decât obiectele cu care omul vine în contact des sau continuu, direct sau indirect.

În general, nocivitatea se urmărește la următoarele grupe de produse:

- ambalaje de uz alimentar;
- jucării;
- articole de uz medical și farmaceutice;
- containere, țevi care transportă apă potabilă, băuturi, lichide alimentare;
- bunuri de larg consum.

Un obiect injectat din material termoplastic conține aditivi. S-a constatat că aditivii au unele proprietăți particulare care influențează acțiunea fiziologică:

- plastifianții exudează, prezintă tendința de migrare, sunt solubili în apă, alcool, uleiuri sau grăsimi;
- lubrifianții pot veni la suprafața piesei injectate, fiind aduși de plastifianți, pot exuda sau dizolva;
- pigmenții vin mai greu la suprafața piesei injectate, excepție făcând cei care migrează;
- stabilizatorii pot prezenta sau nu toxicitate;
- antioxidanții pot fi extrași de uleiurile minerale.

Faptul că o piesă injectată conține un aditiv toxic nu înseamnă că este totdeauna periculos și pentru sănătate. Pentru a fi periculos este necesar ca acest aditiv să migreze în aliment, băutură, fie în alt material sau chiar pe pielea pe omului.

În fiecare țară se emit legislații referitoare la obiectele destinate uzului alimentar, la jucării, instrumente medicale, articole de uz casnic. În general aceste legiferări sunt bazate în fiecare țară pe aceleași principii, existând diferențe nesemnificative.

La produse destinate uzului casnic, pentru păstrarea și manipularea alimentelor, se

stabilesc norme care interzic fabricarea și comercializarea produselor la care substanțele pot migra în alimente, afectându-le gustul și mirosul. Normele igienico-sanitare se stabilesc făcând extracția unor lichide alimentare: apă distilată sau alcoolizată, apă acidulată, acid citric sau acetic, apă acidulată și zahăr, etc.

Produsele injectate destinate folosirii medicale și farmaceutice sunt supuse unor norme bazate pe teste biologice.

Jucăriile sunt supuse unor norme igienico-sanitare care pe lângă materialul termoplastic de bază trebuie să țină seama și de materialele de ornamentare, ca: vopsele, emailuri, cerneluri de imprimare sau ornamine. Astfel, în STAS 7143-84 „Jucării din materiale plastice – condiții sanitaro-igienice și metode de verificare", se impune pentru materialele auxiliare (pelicule de ornamentare) limitele maxime pentru unele elemente chimice (*tab.1.11*).

1.5. Materiale auxiliare

Materialele auxiliare sau aditivii, sunt substanțe adăugate în cantități mai mici unui polimer; acționează aupra proprietăților fizice, chimice, electrice ale produsului sau asupra facilității la prelucrarea prin injectare [26, 27].

Materialele auxiliare adăugate polimerilor termoplastici sunt: plastifianți, stabilizatori, materiale de umplutură, coloranți, agenți de expandare, agenți antistatici, lubrifianți, agenți de demulare, agenți fungistatici și bacteriologici, agenți de autodegradare, agenți de ignifugare, agenți de odorizare, coloranți, materiale de ranforsare.

1.5.1 Plastifianți

Plastifianții sunt substanțe lichide sau solide care, adăugate polimerilor termoplastici, modifică proprietățile lor fizice. Ei au rolul de a micșora forțele de atracție intermoleculară a polimerilor, determinând flexibilitatea macromoleculelor.

Plastifianții au următoarele funcții:

- îmbunătățesc condițiile de prelucrare prin injectare;
- coboară temperatura de prelucrare sub temperatura de degradare;
- schimbă proprietățile produselor finite injectate, îmbunătățind flexibilitatea, alungirea, rezistența la temperaturi joase. Se pot diminua însă unele proprietăți ale pieselor injectate, cum ar fi: rezistența la tracțiune, proprietățile dielectrice, etc.;
- ieftinirea amestecurilor de materiale plastice.

Tab.1.11. Extract acid pentru pelicule de ornamentare la jucăriile din mase plastice.

Element dăunător organismului determinat în extractul acid	Condiția de admisibilitate [mg/kg peliculă uscată max.]
Plumb	2500
Arsen	100
Cadmiu	100
Mercur	100
Bariu	500
Crom	250
Stibiu	250

Plastifianții sunt de obicei lichide cu greutate moleculară mică, greu volatile, foarte rar sunt substanțe solide cristaline.

Introducerea plastifiantului în masa polimerului, determină scăderea vâscozității acestuia, scăderea fiind proporțională cu cantitatea de plastifiant introdusă.

Plastifianților li se cere îndeplinirea următoarelor condiții:

- să fie eficace, calitate ce se apreciază prin scăderea temperaturii de vitrifiere;
- să fie compatibil cu polimerul;
- să fie cât mai puțin volatil;
- să fie stabil la căldură și lumină;
- să nu fie toxic, etc.

Plastifianții compatibili se repartizează molecular în polimer, iar plastifianții incompatibili formează cu polimerul o emulsie.

Plastifianții pot fi împărțiți în trei grupe:

- de tip dizolvant, care sunt miscibili în orice proportie cu polimerul;
- de tip nedizolvant, care au o miscibilitate limitată cu polimerii;
- de tip polimer, cu o gamă largă de mase moleculare.

În practică există o mulțime de plastifianți produși de diferite firme [72].

1.5.2. Stabilizatori

Stabilizatorii au rolul de a atenua sau a elimina reacțiile care cauzează degradarea și de a asigura în timp păstrarea proprietăților polimerilor.

Polimerii sunt expuși la acțiunea căldurii, luminii, conditiilor atmosferice, microorganismelor, degradându-se. Degradarea se remarcă în special prin schimbarea culorii, prin deteriorarea proprietăților fizice, reducerea proprietăților mecanice și înrautățirea proprietăților dielectrice.

În funcție de factorii care determină degradarea, aceasta poate fi: termică, chimică, fotochimică, etc. În toate tipurile de degradare, acțiunea oxigenului este determinantă.

Actiunea stabilizatorilor este, de cele mai multe ori, o acțiune de inhibare a reacțiilor de oxidare.

Fiecare grupă de polimeri are însă un gen aparte de degradare, în funcție de structura chimică, de prelucrare și de aplicațiile produselor finite. Un caz aparte de degradare prezintă polimerii din grupa policlorurii de vinil, care au în structură atomi de clor, întrucât atomii de clor sunt labili la căldură. La această grupă de polimeri domină degradarea termică, care necesită o stabilizare aparte [25].

În operațiile de stabilizare a polimerilor, practica a arătat că se pot obține rezultate mai bune folosind un amestec de doi sau mai mulți stabilizatori din aceeași grupă sau din grupe diferite. Această operație, numită *sinergism*, dă rezultate bune, deoarece funcțiile unui stabilizator completează funcțiile altui stabilizator.

La alegerea stabilizatorilor se ține seama de natura factorilor care pot determina degradarea polimerilor, precum și de compatibilitatea acestora cu polimerul, de toxicitate, de culoare și de volatilitate.

Degradarea oxidativă a polimerilor începe în timpul prelucrării și poate continua pe durata depozitării și utilizării produselor finite. Întârzierea și inhibarea degradării oxidative a polimerilor, se realizează cu ajutorul unor substanțe numite *antioxidanți*. Antioxidanții se adaugă polimerilor în cantități mici de 0,1...0.5%, prin operația numită *stabilizare antioxidantă*.

Antioxidanții pentru polimeri, în funcție de structura chimică, pot fi: compuși cu sulf, amine, fenol, fosfiți organici. La alegerea antioxidanților este necesar să se ia în considerare în primul rând natura polimerului și mecanismul de degradare la care este supus în funcție de prelucrare și de domeniul de aplicare. De exemplu, poliolefinele se degradează atât la prelucrare (datorită căldurii), cât și la expunere la lumină în cazul pieselor injectate folosite în aer liber, în timp ce polistirenul rezistă mai bine la prelucrare, fiind susceptibil la expunere la lumină.

Degradarea polimerilor prin utilizarea pieselor injectate în atmosferă se datorește acțiunii luminii solare, prin energia radiațiilor ultraviolete. Stabilizatorii de lumină pot fi ecranatori pentru radiațiile ultraviolete, absorbanți în radiații ultraviolete, stabilizatori fotochimici sau costabilizatori sinergici. Produsele de ecranare fac polimerul opac și reflectă radiațiile solare, astfel că previn pătrunderea radiațiilor ultraviolete în interiorul materialelor, restrângând acțiunea de degradare la o fâșie subțire de pe suprafața expusă.

1.5.3. Materiale de umplutură

Materiale de umplutură sunt substanțe sau amestecuri de substanțe de natură minerală, vegetală sau animală, care se amestecă cu polimerul pentru a-i modifica anumite proprietăți fizico-mecanice.

Materialele de umplutură pot reduce: fisurarea, deformarea și porozitatea materialului, starea suprafeței, rezistența la abraziune, la temperatură, umiditate. De asemenea, materialele de umplutură pot asigura stabilitatea dimensională a pieselor injectate, diminuarea presiunilor de injectare și coborârea temperaturilor de prelucrare.

Alegerea materialelor de umplutură pentru anumite utilizări este influențată de constituția chimică a acestora, disponibilitatea și prețul lor. Un material de umplutură trebuie să corespundă la următoarele cerințe:

- să confere maximum de proprietăți fizico-mecanice dorite;
- să aibă absorbție mică de umiditate;
- rezistență la căldură și agenți chimici;
- să nu ardă;
- să nu posede miros;
- să aibă o bună disponibilitate;
- să nu influențeze culoarea;
- să fie puțin solubil în apă și dizolvanți.

Materialele de umplutură se pot clasifica în funcție de caracteristicile lor fizice și chimice.

Materialele de umplutură pot fi:

- produse de siliciu (nisip, cuarț, diatomite silice);
- silicați (caolin, mică, talc, azbest, silicat de calciu, etc.);
- sticla (fulgi, microsfere, granule, fibre);
- carbonat de calciu (calcar, cretă măcinată);
- oxizi metalici (oxid de zinc, oxid de aluminiu, etc.);
- pulberi metalice (aluminiu, bronz, cupru, etc.);
- carbon (fibre de carbon, negru de fum);
- umpluturi celulozice (făină de lemn, lignină prelucrată, etc.);
- diferiți compuși anorganici (bisulfură de molibden, sulfat de bariu);
- polimeri pulberi.

Concentrația de material de umplutură în materialul plastic depinde de tipul materialului plastic, de destinația piesei injectate, de proprietățile cerute în exploatarea piesei injectate.

La compoundurile din PVC pentru injectare, umplutura poate fi în proporție de 10...50%, utilizându-se carbonat de calciu și caolin.

La polistiren, pentru obținerea unor piese injectate cu rezistențe mecanice superioare, se apelează la fibre de sticlă în proporție de 30...35%.

La poliolefine, ca materiale de umplutură, se folosește negru de fum pentru îmbunătățirea rezistenței la îmbătrânire, silicați de calciu sau aluminiu în proporție de până la 40% pentru creșterea rigidității, a stabilității și reducerea sarcinilor electrostatice pe suprafața pieselor injectate.

Pentru poliamide se folosesc ca materiale de umplutură fibre de sticlă în proporție de 40%, materiale antifricțiune și lubrifiere (talc, grafit, bisulfură de molibden) până la 60% [21].

1.5.4. Materiale de ranforsare

Materiale de ranforsare sau armare sunt materiale care, adăugate unui polimer, au drept scop principal îmbunătățirea unor proprietăți mecanice, ca: rezistența la tracțiune, rezistența la forfecare, rezistența la abraziune, ș.a.m.d. [14, 21, 53, 61]. Ranforsarea polimerilor, pe lângă îmbunătățirea proprietăților mecanice, diminuează prețul și rezolvă anumite probleme de prelucrare. În general, factorii care influențează alegerea materialelor pentru ranforsare sunt: proprietățile materialelor de ranforsare, nivelul de rezistență mecanică dorită, aspectul economic. Materialele de ranforsare se împart în fibre, microsfere și fulgi.

Fibrele pentru ranforsare pot fi:

- fibre de sticlă (filamente, fibre goale);
- fibre de carbon;
- fibre aramidice cu înalte performanțe;
- fibre sintetice de înaltă performanță (fibre poliamidice, imidice, fibre fenolice, fibre anorganice: aluminiu, beriliu, nitrură de bor, oxid de titan).

Proporția de fibre în amestec cu polimerul este în funcție de destinația pieselor injectate, putând ajunge până la 60%. Fibrele pot fi scurte sau tăiate (de carbon, sticlă, aramidice). În timpul procesului de prelucrare fibrele sunt orientate pe sensul de injectare, influențând atât condițiile de prelucrare, cât și proprietățile piesei injectate.

Fibrele Whiskers se caracterizează prin aceea că sunt monocristaline, au diametre mici până la 30 μm, au rezistență la tracțiune foarte mare, până la 400.000 kgf/cm^2. Materialele din care se fabrică firele de tip whiskers sunt: oxid și azotat de amoniu, oxid de beriliu, oxid de bor, oxid de magneziu, etc.

Microsferele pentru ranforsare au dimensiuni cu diametre mergând de la 5 la 800 μm, și se fabrică din sticlă sau polimeri. Microsferele prezintă următoarele avantaje: măresc calitatea de curgere a polimerului și distribuția uniformă a tensiunilor interne.

Fulgii pentru ranforsarea polimerilor pot fi din sticlă, borură de aluminiu, carbură de siliciu, mică, etc.

1.5.5. Lubrifianți

Lubrifianții au mai multe funcții: în primul rând de a ușura prelucrarea diminuând

frecările, de a reduce vâscozitatea topiturii și îmbunătățirea proprietăților de curgere. În raport cu funcțiile pe care le îndeplinesc lubrifianții, lubrifierea poate fi internă sau externă.

Lubrifierea internă se referă la caracteristicile de curgere ale polimerului însuși și corespunde la o diminuare a frecărilor interne între aglomerările de molecule, realizându-se îmbunătățirea curgerii și prelucrării materialului la temperaturi mai joase.

Lubrifierea externă previne lipirea materialului termoplastic de suprafețele metalice calde ale mașinii de injectare și matriței, formând un strat subțire de lubrifiant care ușurează mișcarea materialului.

Eficiența și proporția între acțiunea internă și externă a lubrifiantului sunt determinate de constituția chimică și starea fizică a aditivului. Pentru a asigura echilibrul între lubrifierea internă și cea externă, trebuie cunoscută limita de compatibilitate între lubrifiant și polimer. Proporția de lubrifiant într-un amestec de polimer, variază în intervalul 0,1...2%, însă cel mai frecvent este de 0,25...0,50%, față de cantitatea de polimer. Pentru a fi eficient, un lubrifiant trebuie să fie compatibil cu polimerul, să nu influențeze negativ proprietățile produselor finite, să se combine ușor, să nu prezinte toxicitate. Ca lubrifianți interni se utilizează: acidul stearic, stearați de magneziu, de aluminiu, de cupru, de zinc, de calciu, poliglicoli cerosi, ceruri, grafit, grăsimi, uleiuri, parafine, uleiul de parafină, etc. Ca lubrifianți externi se utilizează: ceruri, ulei de ricin sulfonat, siliconi, stearați (de calciu, de magneziu), poliglicoli, etc.

1.5.6. Agenți antistatici

Agenții antistatici sunt substanțe care se adaugă polimerilor pentru a reduce acumularea încărcării electrostatice de pe suprafața pieselor injectate.

Acumularea sarcinilor electrostatice se produce în timpul prelucrării ca urmare a frecării materialului plastic de suprafețele metalice în mașina de injectat și în matriță. Apariția încărcării electrostatice produce următoarele inconveniente:

- scântei și descărcări electrostatice care sunt periculoase în atmosferă explozivă;
- intensificarea depunerii prafului.

La alegerea agenților antistatici se ține seama de:

- puterea de antistatizare care se consideră eficientă când coboară rezistivitatea de suprafață la $10^{10}...10^{11}$ ohmi;
- compatibilitatea cu polimerul;
- să nu fie solubil în apă;
- să fie stabil la temperaturile de prelucrare prin injectare;
- să nu fie toxic;
- să nu fie coroziv.

În funcție de durata eficienței, agenții antistatici se clasifică în:

- temporari, care dispar cu timpul în condiții de utilizare. Sunt în general soluții care se aplică prin pulverizare, înmuiere sau amestecare. Exemple: soluții de detergenți, glicerină cu apă, etc.;
- semipermanenți, sub formă de lacuri sau vopsele care lasă pe suprafața piesei injectate un film subțire, continuu. Exemple: preparați pe bază de alcooli, acizi grași. Se aplică prin pulverizare, prin înmuiere, prin curgere, etc.;
- permanenți, a căror durată este echivalentă cu durata piesei injectate. Se încorporează împreună cu alți aditivi în amestecurile de prelucrare. Se prezintă sub forma unor substanțe solide sau lichide.

1.5.7. Agenţi de ignifugare

Agenţii de ignifugare au rolul de a mări rezistenţa la foc a materialelor termoplastice. Aceştia se aleg pe baza următorilor factori:

- compatibilitatea cu polimerul;
- să nu influenţeze defavorabil proprietăţile produselor;
- să nu influenţeze procesul de uscare al polimerului;
- să fie stabil chimic;
- să nu fie toxic.

Principalele grupe de agenti de ignifugare sunt: compuşii halogenaţi, compuşii fosforului, compuşii pe bază de antimoniu, precum şi alţi aditivi pentru ignifugare.

1.5.8. Agenţi fungistatici

Agenţii fungistatici sunt substanţe care adăugate materialului plastic îl fac rezistent la acţiunea microorganismelor. Se manifestă prin sfărâmarea produselor, decolorarea, deteriorarea proprietăţilor mecanice şi electrice, etc. Acţiunea microorganismelor este considerabil mărită în condiţii de umiditate şi temperatură mare (climate tropicale).

Agenţii fungistatici se încorporează în general în faza de compoundare, însă se pot realiza şi protecţii de suprafaţă cu emulsii sau soluţii fungistatice. Ca agenţi fungistatici se folosesc: compuşi organostatici, mercaptani, compuşi de amoniu, compuşi pe bază de arsen, etc.

Un agent fungistatic trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

- să aibă eficacitate mare în concentraţii mici;
- să fie foarte toxic pentru microorganisme şi puţin toxic pentru om;
- să aibă stabilitate chimică şi rezistenţă la temperaturile de prelucrare;
- să fie compatibil cu ceilalţi aditivi;
- să aibă preţ de cost mic.

1.5.9. Agenţi de expandare

Agenţii de expandare (porogene) sunt materiale lichide, solide sau gazoase, care sunt capabile de a produce o structură celulară produselor injectate din materiale termoplastice. Din punct de vedere al stării lor fizice, agenţii de expandare se clasifică în:

- agenţi de expandare lichizi, care sunt introduşi în polimer la fabricarea lui;
- agenţi de expandare solizi, care sub acţiunea căldurii degajă un gaz. Uzual aceste produse trec sub formă gazoasă la temperaturile de prelucrare prin injectare.

Alegerea agenţilor de expandare depinde în principal de natura polimerului şi de densitatea impusă piesei injectate. Pentru tehnologia de injectare este foarte important a se corela dozajul de agent de expandare în legătură cu parametrii de prelucrare prin injectare. Determinarea dozajului de agent se face prin încercări preliminare, în funcţie de produsul injectat. Pentru piese injectate expandate, se recomandă ca agentul de expandare să fie în proporţie de 0,3...0,75%.

1.5.10. Agenţi de odorizare

Agenţii de odorizare sunt substanţe chimice care corectează mirosul compoziţiilor de polimeri. Unele materiale termoplastice dezvoltă un miros necorespunzător datorită fie constituţiei chimice a polimerului, fie auxiliarilor care intervin în timpul prelucrării (stabilizatori, plastifianţi, etc.).

Ca agenţi de odorizare se folosesc:

- compuşi organici;
- uleiuri naturale;
- anumite hidrocarburi lichide.

Agenţii de odorizare se introduc în compoziţiile de polimer, caz în care trebuie să reziste la temperaturile de prelucrare prin injectare, sau se aplică pe piesa injectată prin stropire sau imersie. Agentul de odorizare se încorporează în polimer, în funcţie de intensitatea mirosului, într-o concentraţie de 0,02...0,5%.

1.5.11. Agenţi de demulare

Agenţii de demulare sunt substanţe care se aplică pe utilajul şi pe matriţa de injectare care prelucrează materialele termoplastice şi are ca scop:

- obţinerea unei suprafeţe a piesei injectate fără defecte;
- uşurarea scoaterii piesei injectate din matriţă.

Se aplică pe suprafeţe prin pulverizare sau cu pensula. Agenţii de demulare se aleg în funcţie de tipul polimerului şi destinaţia produsului injectat.

Ca produse de demulare se folosesc:

- siliconii, care sunt cei mai folosiţi;
- dizolvanţi fluoro-clorurati;
- preparate din polimeri semiorganici care au la bază siliconi, fluorocarboni, ceruri.

1.6. Materiale termoplastice pentru injectare

Materialele termoplastice pentru injectare se livrează pulbere sau granule, în diferite forme geometrice: lenticulare, sferice, cilindrice, cubice. Materialele termoplastice pentru injectare fac obiectul a numeroase lucrări de specialitate [4...7, 11...17, 19...23].

1.6.1. Alegerea materialului

Alegerea materialului termoplastic pentru realizarea unei piese injectate trebuie să

ţină seama de comportarea acestuia în condiţiile acestui gen de prelucrare, precum şi de condiţiile impuse piesei injectate.

Factorii care ţin de tehnologie impun materialului termoplastic mai multe condiţii, printre care semnalăm:

- *uniformitatea granulelor.* În vederea unei dozări uniforme în cilindrul maşinii de injectat, granulele de material termoplastic trebuie să fie uniforme şi să aibă acelaşi volum. Granulele nu trebuie să fie sfărâmate sau tăiate, ceea ce poate duce la formarea de bolţi în pâlnia de alimentare a maşinii, împiedicând dozarea.

- *conţinutul de apă redus în granulă.* Prezenţa apei în materialul plastic supus topirii determină evaporări în cilindrul maşinii de injectare, ceea ce produce perturbări în procesul de injectare. La multe materiale este necesar să se realizeze o bună uscare înainte de prelucrare.

- *stabilitate termică şi chimică.* În timpul procesului de prelucrare din cilindrul maşinii şi din matriţă, materialul plastic este supus unor presiuni şi temperaturi înalte într-o perioadă mai lungă de timp; materialul trebuie să rămână stabil, să nu se degradeze termic şi să descompună chimic. Un material plastic degradat în cilindru şi injectat în matriţă face să se obţină piese injectate cu defecte şi cu rezistenţă mecanică slabă. Un material plastic instabil termic se descompune în componenţi volatili, de foarte multe ori agresivi chimic, aât în cilindrul maşinii, cât şi în matriţă. Prezenţa agenţilor volatili cu miros greu şi agresivitate pot ridica probleme la deservirea maşinii de injectat.

- *contracţii mici.* Pentru a realiza precizia dimensională şi de formă a piesei injectate se alege un material termoplastic adecvat care asigură toleranţele prescrise. Materialele termoplastice prezintă contracţii diferite.

Pentru realizarea prin injectare a unei piese se alege materialul termoplastic în funcţie de următorii factori:

- *durata de viaţă a piesei injectate.* Materialul termoplastic se alege cu atenţie mai ales la piesele tehnice supuse la solicitări severe. Se realizează modelări cu ajutorul calculatorului şi se realizează un prototip pentru a alege un material plastic corespunzător;

- *configuraţia piesei.* Mai ales pentru articolele tehnice complicate care prezintă intersecţii de pereţi, variaţie de grosime de pereţi, inserţii metalice, etc. unde apar probleme de curgere a materialului, ceea ce implică o atentă alegere a acestuia.

- *calităţi optice şi de transparenţă.* Condiţii de transparenţă sau optice impuse pieselor injectate, pot fi îndeplinite numai de anumite materiale termoplastice (polistiren, policarbonat, polimetacrilat de metil). Încercările pe prototipuri şi luarea în considerare a costurilor materialului, determină o alegere corespunzătoare.

- *solicitări termice în exploatare.* Piesele injectate, în funcţie de destinaţie, pot fi supuse în condiţii de exploatare la temperaturi ridicate care restrâng aria de alegere a tipului de material. De asemenea în unele cazuri se impun condiţii de neinflamabilitate a pieselor care lucrează în regimuri de temperatură ridicată.

- *solicitări mecanice.* Pentru a atinge valorile de rezistenţă impuse piesei injectate, se porneşte de la calităţile de rezistenţă mecanică a materialului. Materialele plastice armate oferă posibilităţi de creştere a rezistenţei piesei injectate la solicitările de natură mecanică.

- *solicitări de natură electrică.* Multe dintre piesele injectate se folosesc în aparatură electrică ca izolatori. În astfel de cazuri, la alegerea materialului pentru injectarea piesei, trebuie să se ia în considerare anumiţi factori: rezistenţa la străpungere, rezistenţa la izolaţie, rezistenţa de suprafaţă, constanta dielectrică.

- *solicitări de natură chimică.* Condiţiile de exploatare în mediu agresiv chimic restricţionează aria de folosinţă a materialelor plastice. Se ia în considerare de asemenea destinaţia piesei injectate (uz alimentar sau nealimentar) şi condiţiile de exploatare în mediu ambiant (umiditate, acţiunea razelor ultraviolete, etc.).

- *costul materialului.* Preţul materiei prime influenţează direct costul piesei injectate, factor ce se ia în considerare încă de la conceperea piesei.

1.6.2. Tipuri de materiale

1.6.2.1 Materiale termoplastice celulozice

Materialele termoplastice celulozice au la bază celuloza. Celuloza utilizată la materialele plastice se obţine din fibrele de bumbac, in, iută, celuloză extract, etc.

Principalele materiale folosite la injectare sunt: acetatul de celuloză, acetobutiratul de celuloză şi etil celuloza.

1.6.2.1.1. Acetat de celuloză (CA)

Denumire comercială: CELLIDOR A, S, U, SETILITHE (Germania), PERLIANE, PLASTINE, ACELITHE (Franţa), CABROLOID, KARBOLOID, DEXEL (Anglia), SICALIT (Italia), CELAIRE, CELLULATE, PLASTACELE TENITE (S.U.A.).

Obţinere. Acetatul de celuloză rezultă din reacţia celulozei cu acid acetic sau anhidridă acetică, în prezenţa acidului sulfuric.

Prezentare şi însuşiri generale. Se prezintă în formă de granule cilindrice sau cubice, transparente sau divers colorate. Granulele conţin plastifianţi. Este un material cu strălucire, plăcut la pipăit. Este potrivit pentru injectare pe inserţii metalice. Obiectele injectate se pot folosi până la o temperatură de 60...85°C.

Exemple de utilizare: în industria de automobile (volane, elemente decorative, butoane de comandă, etc.), truse de scule (mânere de cleşte, mânere de şurubelniţe, capete de ciocan, etc.), industria optică (rame ochelari, lentile diverse, etc.), industria de mobilă (mânere pentru uşi, sertare, şezuturi şi spătare de scaun, etc.), articole de menaj (mânere de tacâmuri, mânere de foarfeci, etc.), aparate electrice şi electronice (carcase pentru televizoare şi radio, accesorii telefonice, butoane de comandă, etc.), articole de birou (corpuri de pixuri şi stilouri, şabloane, liniare, etc.), articole cosmetice (mânere de perii, piepteni, mânere de periuţe de dinţi, tuburi de ruj, etc.), jucării, etc.

Proprietăţi fizice. Proprietăţile mecanice ale acetatului de celuloză nu sunt influenţate de umiditate, abstracţie făcând rigiditatea şi duritatea care se modifică în mică măsură. Prezintă bune proprietăţi optice. Puţin sensibil la praf, datorită disipării rapide pe suprafaţă a sarcinilor electrostatice. Principalele proprietăţi fizice sunt date în *tab.1.12.*

Comportare la ardere:

- arde în continuare după aprindere cu ardere lentă;
- fum negru slab;
- cenuşă brună închisă;
- flacără verde gălbuie cu formare de scântei;
- se înmoaie şi picură;
- miros de acid acetic (înţepător) şi hârtie arsă.

Tab.1.12. Principalele proprietăți fizice ale materialelor plastice celulozice.

Proprietatea	U.M.	Acetat de celuloză	Acetobutirat de celuloză	Etil celuloză
Densitatea	g/cm^3	1,27...1,31	1,18...1,29	1,12...1,15
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	30...65	21...58	30...55
Rezistența la compresie	N/mm^2	90...250	50...150	70...240
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	35...78	29...61	27...60
Duritate Rockwell	-	70...120	50...110	50...115
Alungire la rupere	%	6...70	40...90	5...40
Coeficient de dilatare termică	10^{-5}/°C	8...18	11...17	10...20
Căldură specifică	cal/g°C	0,30...0,42	0,3...0,4	0,3...0,75
Rezistență electrică de volum	Ωcm	10^{10}...10^{14}	10^{11}...10^{15}	10^{12}...10^{14}
Constanta dielectrică (60Hz)	-	3,5...7,5	3,5...6,4	3...4,2
Factor de pierdere dielectrică (60Hz)	-	0,01...0,06	0,01...0,04	0,005...0,02
Absorbția de apă	%	5	2	5

Proprietăți chimice. Acetatul de celuloză este:

- stabil față de benzină, ulei, unsoare, eter, apă, benzol;
- instabil la acizi concentrați, clorură de metilen (gonflează), hidroxid de sodiu, acetat de etil (gonflează și se dizolvă), acetonă (se dizolvă);
- stabilitate limitată la alcool (se dizolvă parțial).

Acetatul de celuloză prezintă o bună stabilitate la transpirația mâinilor.

Prelucrare. În vederea prelucrării, acetatul de celuloză se usucă în uscătoare cu tăvi cu recircularea aerului, cu grosimea stratului de maximum 3 cm, timp de 2...3 ore, la o temperatură de 80°C. Se recomandă presiunea de injectare 800...1200 bari, presiunea ulterioară 40...70% din presiunea de injectare, iar contrapresiunea la dozare 50...100 bari.

Este imperios necesar folosirea clapetei antiretur în capul șnecului de injectare.

La injectare se recomandă: duze deschise, duze cu închidere cu arc, duze cu acționare hidraulică. Nu se recomandă duzele cu închidere cu sertar.

Contracțiile materialului plastic care se iau în considerare la construcția matriței sunt de 0,4% în sensul de curgere și 0,7% perpendicular pe sensul de curgere. Postcontracția este neglijabilă.

Valorile temperaturilor cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea acetatului de celuloză pot fi urmărite în *fig.1.37.*

Viteza de injectare trebuie să fie mare pentru articole cu pereți subțiri, iar pentru articole cu pereți groși viteza trebuie să fie lentă.

La oprirea mașinii se întrerupe încălzirea, se plastifiază fără contrapresiune și se purjează. Se repetă operațiunea de câteva ori. Golirea cilindrului de material se face prin purjare cu polietilenă de înaltă densitate.

Prelucrare ulterioară. Piesele injectate din acetat de celuloză se prelucrează prin așchiere fără dificultate cu scule adecvate pentru materiale plastice. Piesele din acetat de celuloză se pretează la vopsire, imprimare prin serigrafiere, metalizare în vid.

Sudarea pieselor din acetat de celuloză prin procedeele uzuale este posibilă, dar se preferă lipirea cu diferiți solvenți.

1.6.2.1.2. Acetobutirat de celuloză (CAB)

Denumire comercială: CELLIDOR (Germania); TENITE II (S.U.A.); NATARENE (Franța); TELCON CAB (Anglia).

Obținere: Acetobutiratul de celuloză este un amestec de esteri celulozici, rezultat

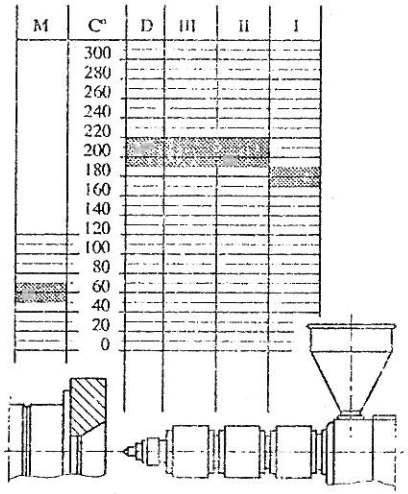


Fig.1.37. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea acetatului de celuloză.

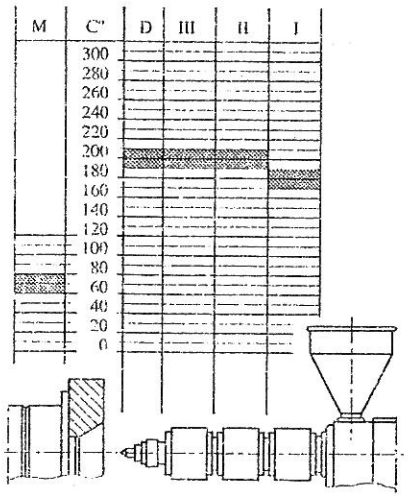


Fig.1.38. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea acetobutiratului de celuloză.

din tratarea celulozei cu acid butiric sau anhidridă butirică și acid acetic sau anhidridă acetică în prezența acidului sulfuric.

Prezentare, însușiri generale. Se prezintă sub formă de granule transparente sau divers colorate. Se obțin piese injectate cu suprafețe foarte netede, fără tendințe de fisurare. Este foarte potrivit pentru injectare pe inserții metalice de dimensiuni mari.

Piesele injectate se pot folosi, în absența solicitărilor mecanice, până la max. 70°C.

Exemple de utilizare: în industria de automobile (volane, îmbrăcăminte de volane), în industria mobilei (accesorii), truse de scule (mânere diverse), aparate electrice și electronice (carcase televizoare, aspiratoare), tablouri de comandă, etc.

Proprietăți fizice. Acetobutiratul de celuloză prezintă o bună rezistență mecanică și o bună rezistentă la temperatură și umiditate. Este foarte rezistent în condițiile climatului tropical. Puțin sensibil la praf, ca urmare a încărcăturii electrostatice mici.

Principalele proprietăți fizice sunt prezentate în *tab.1.12.*

Comportare la ardere:

- ardere lentă;
- arde mai departe după aprindere;
- fum negru, slab;
- cenușă neagră;
- flacără strălucitoare galbenă spre albastru;
- picură, iar picăturile pot arde;
- miros de acid butiric (rânced) și hârtie arsă.

Proprietăți chimice:

- stabil față de apă, benzină, acizi slabi, uleiuri minerale, grăsime, baze slabe,
- instabil la acizi concentrați, baze concentrate, esteri, benzoli, tetraclorură de carbon.

Prelucrare. În vederea prelucrării acetobutiratul de celuloză se usucă în uscătoare cu tăvi, cu recircularea aerului, cu grosimea stratului de 3 cm timp de 2...3 ore la o

temperatură de 70...80°C.

Presiunea de injectare se recomandă să fie reglată la 800...1200 bari, presiunea ulterioară 40...70% din cea de injectare, iar contrapresiunea de dozare 50...100 bari.

Este imperios necesar folosirea clapetei antiretur în capul melcului de injectare.

Se recomandă: duze deschise, duze cu închidere cu arc, duze cu închidere cu acționare hidraulică. Nu se recomandă duzele cu închidere cu sertar.

La construcția matriței se iau în considerare contracții ale materialului plastic de 0,4% în sensul de curgere și 0,7% perpendicular pe sensul de curgere.

Valorile temperaturilor cilindrului de injectare și matriței la prelucrare pot fi urmărite în *fig.1.38.*

Prelucrări ulterioare. Acetobutiratul de celuloză poate fi prelucrat prin strunjire, frezare, găurire, tăiere, folosind scule de prelucrare tipice pentru mase plastice.

Pentru lipirea a două piese injectate din CAB se folosesc solvenți. Pentru lipirea CAB de alte materiale se folosesc adezivi.

Piesele din acetobutirat de celuloză se pot picta, imprima serigrafic, metaliza în vid.

1.6.2.1.3. Etil celuloză (EC)

Denumire comercială: AT CELLULOSE (Germania); CELLOSA (Italia).

Obținere: Etil celuloza se obține prin tratarea celulozei cu clorură de etil.

Prezentare, însușiri generale. Se prezintă în formă de granule de culoare deschisă sau închisă. Stabilitate dimensională bună. Temperatura maximă de folosință 66°C, în lipsa solicitărilor de natură mecanică.

Exemple de utilizare: suport pentru bobine electrice, receptoare telefonice, piese pentru umbrele pliante, etc.

Proprietăți fizice: Prezintă rezistență mecanică ridicată, dar stabilitate termică mică. Principalele proprietăți fizice sunt prezentate în *tab.1.12.*

Comportare la ardere:

- arderea este lentă și arde în continuare după aprindere;
- flacără puțin strălucitoare, galbenă sau cu dungi albastre;
- fum negru, slab;
- cenușă brună;
- picură, iar picăturile pot arde;
- miros predominant de hârtie arsă.

Proprietăți chimice:

- stabil la acizi slabi, baze slabe, alcooli (condiționat);
- instabil la acizi concentrați, baze concentrate, esteri, benzine, benzoli.

Prelucrare. În procesul de prelucrare se recomandă o presiune maximă de injectare de 800...1200 bari, presiunea ulterioară 40...70% din cea de injectare, iar contrapresiunea de dozare de 50...100 bari. Contracțiile materialului plastic care se iau în considerare sunt de 0,4% în sensul curgerii și de 0,7% perpendicular pe acesta. Valorile temperaturilor cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea etil celulozei pot fi urmărite în *fig.1.39.*

1.6.2.2. Polistirenul și compuși ai polistirenului

Polistirenul se obține prin polimerizarea în masă, emulsie, suspensie sau soluție a stirenului.

În funcție de destinație și tehnologia de prelucrare în produse finite, polimerului pur obținut prin sinteză i se adaugă diverși aditivi (antioxidanți, lubrifianți, coloranți, etc.) care pot influența proprietățile produsului. Din grupa polistirenului și a copolimerilor pentru injectare se folosesc: polistirenul de uz general, polistirenul rezistent la șoc, copolimerul stiren-acrilonitril, copolimerul acrilonitril-butadien-stiren.

1.6.2.2.1. Polistiren de uz general (PS)

Denumire comercială: POLISTIREN G (România); HOSTYREN, POLYSTYROL, VESTYRON (Germania); POLISTYRENE, CARINEX, BEXTRENE (Anglia); GEDEX, LACQORENE, LASTIROL (Franța); EDISTIR, LASTIROL, SICOSTYROL, STIROPLASTIC (Italia); LUSTREX, CEREX, STYRON, CYRENE, STARFLAN PS, STARL PS (S.U.A.); TOPOREX, DIAREX, ESBRITE (Japonia).

Obținere: Se obține prin polimerizarea stirenului. Are masa moleculară medie cuprinsă între 70.000 și 190.000.

Prezentare și însușiri generale. Materialele se prezintă în formă granulată (cilindrică, prismatică, perle) transparent sau colorat diferit. Lipsit de gust și miros. Polistirenul transparent (cristal) prezintă transparență foarte bună, asemănătoare sticlei.

Temperatura de folosire este între -40°C și 60...70°C în lipsa solicitărilor mecanice.

Exemple de utilizare: elemente și piese izolatoare în industria electrotehnică și telecomunicații, articole de uz casnic, articole de scris, jucării, etc.

Proprietăți fizice. Materialul prezintă rigiditate și stabilitate dimensională mare, este dur. Prezintă rezistență mecanică medie și slabă la alungire de rupere și la tracțiune.

Prezintă o bună fluiditate. Are bune proprietăți electrice și dielectrice. La temperatura ambiantă factorul de permitivitate și factorul de pierderi dielectrice sunt aproape independenți de frecvență. Rezistivitatea transversală este foarte ridicată. Rolul de izolator al

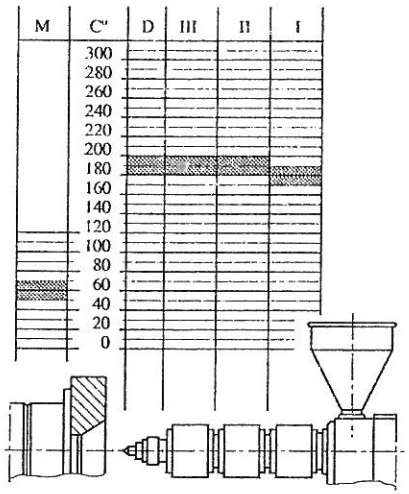


Fig.1.39. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea etil celulozei.

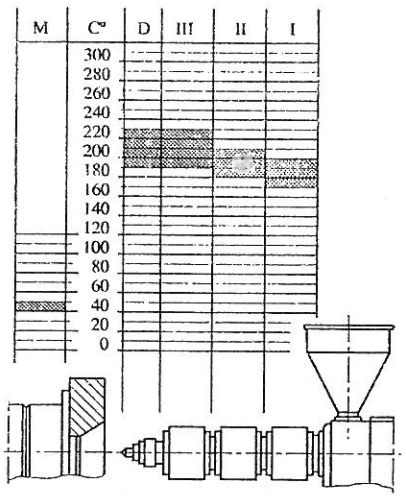


Fig.1.40. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea polistirenului de uz general.

polistirenului, pus în evidență de rezistivitatea superficială, este influențat de umiditatea din aer. Principalele proprietăți fizice ale polistirenului de uz general sunt date în *tab.1.13.*

Comportare la ardere:

- ardere lentă, iar după aprindere arde în continuare;
- flacără strălucitoare galbenă;
- fum negru;
- miros dulceag (tipic de stiren).

Proprietăți chimice:

- stabil la acizi și baze, alcool, uleiuri minerale, grăsimi;
- instabil la esteri, cetone, eteri, benzină, benzol, carburanți.

Prelucrare. În vederea prelucrării, polistirenul se usucă în uscătoare timp de 1...2 ore la 50...60°C.

Valorile recomandate pentru presiunea de injectare sunt 800...1800 bari. Se recomandă o presiune ulterioară de 30...60% din presiunea de injectare și o contrapresiune de 100...200 bari. Este permisă folosirea clapetei antiretur la capătul melcului.

Pentru prelucrarea polistirenului se recomandă: duze deschise, duze cu arc, duze cu închidere acționate hidraulic, duze cu sertar.

La construcția matriței se iau în considerare contracții ale materialului plastic de 0,4...0,6%. Deșeurile măcinate pot fi introduse în circuit în proporție de 15...20%. Valorile temperaturilor cilindrului și matriței de injectare la prelucrarea polistirenului pot fi urmărite în *fig.1.40.*

Prelucrare ulterioară. Semifabricatele din polistiren pot fi prelucrate mecanic cu scule și mașini din industria de prelucrare a lemnului sau metalului. Se acordă atenție răcirii suprafețelor de tăiere cu apă sau aer.

Lipirea polistirenului se realizează cu solvenți (toluen, clorură de metilen, cloroform, acetat de butil, etc.) prin presarea celor două piese una peste alta. Se acordă atenție aspirării solvenților ce se degajă în mediul de lucru.

Sudarea este de bună calitate atât prin ultrasunete, cât și prin impulsuri termice. Nu se aplică sudarea prin curenți de înaltă frecvență.

Piesele se pot metaliza în vid, imprima serigrafic și se pot marca la cald cu folii de ștampilare.

1.6.2.2.2. Polistiren rezistent la șoc (PAS)

Denumire comercială: POLISTIREN PAS-1 (România); HOSTYREN, VESTYRON, POLYSTYROL (Germania); POLYSTYREN, CARINEX, BEXTRENE, GENEX, LACQORENE, STYVARENE, (Franta); SICOSTYROL, STIROPLASTIC, LASTIROL (Italia); LUSTREX, CEREX, STYRON, CYRENE (S.U.A.); TOPOREX DIARE', ESBRITE (Japonia).

Obținere. Este constituit din polistiren modificat cu elastomer în scopul obținerii unei mai bune rezistențe la șoc, superioare celei a polistirenului normal. Uzual ca elastomer se folosește cauciucul butadienic.

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă în formă de granule opace, divers colorate. Granulele conțin antioxidanți, lubrifianți și eventual alți aditivi.

Obiectele injectate se pot folosi până la maximum 60...70°C și minimum -40°C în absența solicitărilor mecanice.

Exemple de utilizare: carcase (telefon, radio, televizoare, casetofoane, etc), produse de uz casnic (pahare, castroane, etc.), ambalaje diverse (produse cosmetice, articole de

Tab.1.13. Principalele proprietăți fizice ale polistirenului și copolimerilor săi.

Proprietatea	U.M.	PS	PAS	SAN	ABS
Densitatea	g/cm^3	1,04...1,06	1,01...1,06	1,06...1,08	0,99...1,15
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	30...80	20...40	65...83	17...62
Rezistența la șoc (120D)	J/cm^2	0,10	min.0,4	min.0,2	min.0,3
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	50...100	40...90	min.80	24...93
Duritate Rockwell	-	68...80	20...70	80...90	30...118
Alungire la rupere	%	1...4	20...45	1,5...3,7	2,3...3
Coeficient de dilatare termică	$10^{-5}/°C$	6...8	8...10	6...8	8,5...10,3
Căldură specifică	cal/g°C	0,32	0,32...0,35	0,32...0,34	0,3...0,4
Rezistență electrică de volum	Ωcm	$10^{15}...10^{16}$	$10^{15}...10^{16}$	$10^{15}...10^{16}$	$(1...4,8)10^{16}$
Factor de pierdere dielectrică (60Hz)	-	$(2,5...4)10^{-4}$	$(2...7)10^{-4}$	-	$(3...8)10^{-4}$
Constanta dielectrică (60Hz)	-	2,5...2,6	2,5...2,6	2,6...3,4	2,5...5
Absorbția de apă	%	0,5	0,5	0,25	0,2

scris, etc.), jucării, articole de toaletă (piepteni, monturi de perii, etc.), etc.

Proprietăți fizice. Proprietățile mecanice ale pieselor din polistiren rezistent la șoc sunt anizotropice și dependente de orientarea macromoleculelor după injectare. Are o bună rezistență la sarcini mecanice, fiind rezistent la șoc. Prezintă o bună fluiditate. Are o bună comportare ca izolator, datorită bunelor proprietăți dielectrice. Are slabe proprietăți optice, prezentându-se în variante mai mult sau mai puțin opace.

Principalele proprietăți fizice sunt prezentate în *tab.1.13.*

Comportarea la ardere:

- ardere lentă și după aprindere arde în continuare;
- flacără strălucitoare, galbenă;
- miros dulceag (tipic stiren), de asemenea de cauciuc.

Proprietăți chimice:

- stabil la acizi slabi, baze slabe;
- stabilitate condiționată la acizi concentrați, baze concentrate, alcool, ulei sau unsoare;
- instabil la esteri, cetone, eteri, benzoli, benzină.

Prelucrare. În vederea prelucrării, polistirenul rezistent la șoc se usucă 1...2 ore la 50...60°C. Presiunea de injectare recomandată este de 600...1800 bari, presiunea ulterioară de 30...60% din cea de injectare, timpul de menținere a presiunii ulterioare 2...10 secunde, iar contrapresiunea de dozare se recomandă să fie 100...200 bari. Este permisă folosirea clapetei antiretur la capătul melcului. Având o fluiditate bună, umplerea matriței se face fără probleme. Pentru injectare se recomandă: duze deschise, duze cu închidere cu arc, duze cu închidere acționate hidraulic, duze cu sertar.

La construcția matriței se iau în considerare contracții ale materialului de 0,4...0,6%.

Deșeurile măcinate se introduc în circuit împreună cu materialul plastic nou în proporție de până la 15...20%.

La oprirea mașinii nu este necesar să se facă purjarea cu alt material. Golirea cilindrului de material se face prin purjarea cu polietilenă de înaltă densitate.

Valorile temperaturilor cilindrului și matriței la injectarea polistirenului rezistent la șoc pot fi urmărite în *fig.1.41.*

Prelucrarea ulterioară. Piesele injectate din polistiren rezistent la șoc se asamblează prin lipire folosind solvenți (toluen, cloroform, metiletilcetona) prin presare. Asamblarea pieselor din polistiren se poate face și prin sudură cu ultrasunete și impulsuri termice.

Piesele injectate se pot metaliza în vid, se pot decora prin serigrafiere și se pot marca la cald prin folii de ștampilare.

1.6.2.2.3. Copolimer stiren-acrilonitril (SAN)

Denumire comercială: LURAN A, VESTORAN (Germania); LASTIL (Franța); KOSTIL, RESTIL, SICOFLEX (Italia); LUSTRAN SAN, TYRIL, STRAFLAN SAN, STARGLAS SAN (S.U.A.); CEVIAN, LITAC A, SANREX (Japonia).

Obținere. Copolimerul stiren-acrilonitril se obține prin copolimerizarea stirenului cu acrilonitrilul.

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă sub formă de granule transparente sau divers colorate.

Obiectele injectate din SAN se pot folosi până la temperatura de maxim 85°C, în absența solicitărilor mecanice. La construcția pieselor injectate se pot folosi inserțiile metalice.

SAN se folosește și în variantă armată cu fibră de sticlă 20...40%.

Exemple de utilizare: articole de uz casnic (platouri, supiere, farfurii, pahare, etc.), articole tehnice (piese de aparate electromenajere, piese pentru radio și televizoare, piese industriale, piese pentru industria de automobile, elemente de telefoane și interfoane, bacuri pentru baterii fixe, etc.), ambalaje (pentru produse farmaceutice, produse alimentare, etc.), articole de papetărie (rigle, echere, etc.), diverse articole (articole de uz personal, periuțe de dinți, etc.), etc.

Proprietăți fizice. Copolimerul stiren-acrilonitril este un material termoplastic cu rigiditate ridicată, rezistență mare la intemperii, rezistență la îmbătrânire. Prezintă bune proprietăți fiziologice, rezistând foarte bine la acțiunea alimentelor solide și lichide, suprafețele injectate rămânând strălucitoare. Principalele proprietăți fizice sunt prezentate în *tab.1.13.*

Comportare la ardere:

- se aprinde greu și arde după îndepărtarea flăcării;
- flacără galbenă;
- miros aspru de cauciuc.

Proprietăți chimice:

- stabil la acizi și baze slabe, uleiuri, grăsimi, apă fierbinte;

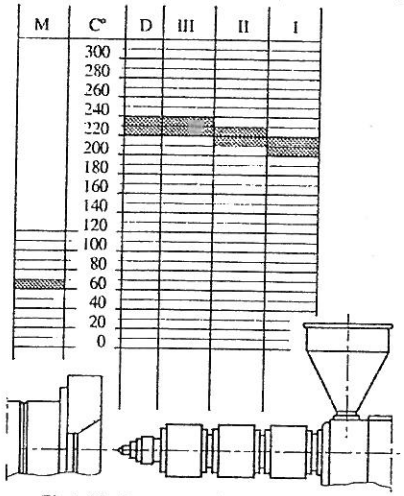


Fig.1.41. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea PAS.

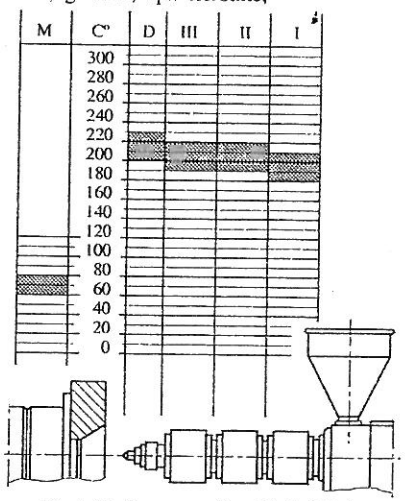


Fig.1.42. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea SAN.

- instabil la acizi concentrați, esteri, eteri, benzen.

Prelucrare. În vederea prelucrării, copolimerul stiren-acrilonitril fiind higroscopic, se livrează în ambalaj care îl protejează contra umidității. Granulele trebuie uscate în straturi de 2...3 cm la 80°C timp de 2...4 ore înainte de prelucrarea prin injectare. În raport cu polistirenul de uz general, SAN implică temperaturi de prelucrare mai ridicate.

Presiunea de injectare folosită este recomandată între 800...1800 bari, presiunea ulterioară 30...60% din cea de injectare, iar contrapresiunea la dozare de 100...200 bari.

La construcția matriței se ia în considerare o contracție a materialului plastic de 0,4-0,5%.

În capul șnecului se poate folosi clapeta antiretur.

Pentru prelucrarea materialului SAN se folosesc: duze deschise, duze închise (cu arc), duze închise (cu acționare hidraulică). Nu se folosesc duzele cu sertar.

Valorile temperaturilor cilindrului și matriței la injectarea SAN pot fi urmărite în *fig.1.42.*

Prelucrarea ulterioară. Sudura cu ultrasunete se recomandă la SAN întărit cu fibre de sticlă. Sudura cu ultrasunete se poate folosi la nituire.

Pentru lipirea pieselor se folosesc solvenți polari (metiletilcetonă, ciclohexanonă, tricloretilena, clorura de metilen).

1.6.2.2.4. Copolimer acrilonitril-butadien-stiren (ABS)

Denumire comercială: NOVODUR, TERLURAN (Germania); MAGNUM, CYCOLAC, CYCOLAN A, UGIKRAL, TYBRENE, KRALASTIC, LUSTRAN, STRAFLAM ABS, STRAGLAS ABS (S.U.A.); STERNITE (Anglia); LASTILAC, LORKARIL, ARRADUR (Franța); EDITER, SINKRAL, RESTIRAN, URTAL (Italia); TOYLAC, HI-BLEN, DIAPET, STAYLAC, TUFREX (Japonia); RONFALIN (Olanda).

Obținere: ABS rezultă din copolimerizarea a trei monomeri: acrilonitril, butadienă, stiren. Variația proporțiilor din fiecare monomer conduce la obținerea unor tipuri de ABS cu diferite proprietăți.

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă sub formă de granule colorate. Culoarea natur a granulelor este gălbuie, opacă.

Obiectele injectate se pot folosi până la maximum 80...120°C. Utilizarea ABS este limitată de lipsa de transparență.

ABS se produce și în varianta armată cu fibră de sticlă.

Exemple de utilizare: în industria de automobile (tablouri de bord, butoane, etc.), aparate electromenajere (corpuri de aspiratoare, uscătoare de păr, mixere, ventilatoare, etc.), aparate electronice și electrice (accesorii radio, televizoare, magnetofoane, etc.), articole diverse (recipiente, farfurii, butoane, etc.), etc.

Proprietăți fizice. Proprietățile mecanice ale ABS-ului sunt reprezentate printr-o tenacitate ridicată, o bună rigiditate, o mare duritate a suprafeței și o foarte bună stabilitate dimensională. ABS prezintă o bună rezistență la căldură.

După injectare, piesele din ABS acuză apariția sarcinilor electrostatice, care însă se disipează rapid; din acest motiv prăfuirea pieselor în atmosferă este neglijabilă.

Datorită acțiunii concomitente a oxigenului din aer și a razelor ultraviolete, procesul de îmbătrânire a pieselor din ABS la exterior se caracterizează prin îngălbenire și scăderea drastică a proprietăților mecanice. Folosirea pieselor injectate la interior asigură o mare durată de funcționare ca urmare a stabilității sale față de oxigen. ABS prezintă proprietăți acustice bune. Principalele proprietăți fizice sunt prezentate în *tab.1.13.*

Comportarea la ardere:

- se aprinde uşor şi arde după îndepărtarea flăcării;
- flacăra este galbenă strălucitoare;
- picură în timpul arderii;
- fumul este negru;
- miros de stiren (dulceag), de asemenea de cauciuc ars.

Proprietăţi chimice:

- stabil la baze, acizi slabi, petrol, ulei, glicerină, detergenţi, amoniac concentrat, benzină;
- instabil la acizi concentraţi, esteri, cetone, eteri, cloroform.

Prelucrare. În vederea prelucrării ABS se usucă în uscătoare cu aer recirculat timp de 2...3 ore la 70°C.

Se recomandă o presiune de injectare cuprinsă între 1000...1500 bari, presiunea ulterioară 30...60% din presiunea de injectare, iar contrapresiunea de dozare de 100...250 bari. Este recomandabilă o viteză de injectare în trepte, pornire lentă apoi injectare rapidă. Se poate folosi clapeta antiretur la capătul melcului.

La oprirea maşinii nu este necesară purjarea materialului.

Pentru construcţia matriţei se ia în considerare o contracţie a materialului plastic de 0,4...0,6%.

Pentru prelucrarea ABS se folosesc: duze deschise, duze cu închidere, duze cu închidere cu arc (cu acţionare hidraulică). Nu se folosesc duzele cu închidere cu sertar. Valorile temperaturilor cilindrului şi matriţei se pot urmări în *fig.1.43*.

Prelucrări ulterioare. ABS se poate supune fără probleme prelucrărilor mecanice (decupare, găurire, frezare, etc.), folosind scule pentru prelucrarea lemnului sau a metalelor neferoase. Piesele din ABS se pot lipi folosind solvenţi polari de tip acetonă, metiletilcetonă sau soluţii de 10...20% ABS în solvenţii de mai sus. Sudarea se poate face în bune condiţii atât cu aer cald cât şi prin ultrasunete. ABS se poate metaliza în vid cu aluminiu fără dificultate.

Datorită bunei rezistenţe la solvenţi şi cerneluri ABS poate fi supus vopsirii, imprimării serigrafice şi marcării la cald cu folii de ştampilare.

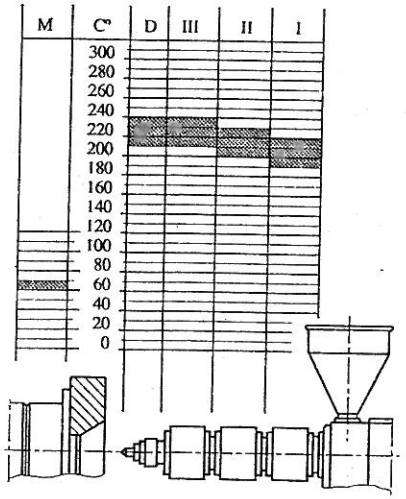


Fig.1.43. Temperaturile cilindrului de injectare şi matriţei la prelucrarea ABS.

1.6.2.3. Poliamide (PA)

Aceşti polimeri rezultă din policondensarea aminelor (în general diamine) cu acizi sau din polimerizarea acizilor aminici.

Există mai multe tipuri de poliamide. Clasificarea uzuală a poliamidelor este cea numerică, bazată pe indicarea numărului de atomi de carbon din amina respectivă, urmată de numărul de atomi de carbon din acid.

Cele mai cunoscute poliamide sunt: poliamida 6 (PA 6), poliamida 6.6 (PA 6.6), poliamida 6.10 (PA 6.10), poliamida 7 (PA 7), poliamida 9 (PA 9), poliamida 11 (PA 11), poliamida 12 (PA 12).

Deasemenea se pot obţine poliamide modificate cu diverse ingrediente.

1.6.2.3.1. Poliamidă 6 (PA 6) şi poliamidă 6.6 (PA 6.6)

Denumire comercială: RELON P (România); DURETHAN, ULTRAMID, GRISAMID, VESTAMID (Germania); MARANIL, GRILON (Anglia); TECHNYL, ORGAMIDE, ROCAMIDE (Franţa); GRILON, GRILAMID, PENTAMID (Elveţia); STANYL (Olanda); AKULON, NYLON, WELLAMID, ZYTEL, STARFLAM PA 6.6, ENKA-NYLON, PLASKON-NYLON (S.U.A.); AMILAN, UBE NYLON, DAIAMID (Japonia); FRILON (Spania).

Obţinere. Poliamida 6 se obţine prin polimerizare pe bază de coprolactamă, iar poliamida 6.6 pe bază de hexametilendiamidă şi acid adipic.

Prezentare şi însuşiri generale. Se prezintă în formă de granule cilindrice, colorate divers, cu tentă opacă. Sunt materiale termoplastice parţial cristaline.

Poliamida 6 şi poliamida 6.6 se folosesc şi în variantă armată cu fibră de sticlă până la 50%.

Exemple de utilizare. Poliamidele se folosesc simple sau armate cu fibră de sticlă în industria de automobile (carcase, ventilatoare, piese de construcţii complicate, etc.), construcţia de maşini (bandaje pentru roţi, piese de fricţiune, roţi dinţate, etc.), construcţii civile şi industriale (mânere, piese de legătură, etc.), articole de uz casnic (roboţi de bucătărie, mobilier, mânere tacâmuri, etc.), industria electrotehnică şi electronică (carcase aparate, întrerupătoare, relee, etc.), jucării, fermoare, etc.

Proprietăţi fizice. Poliamidele se disting prin nivelul ridicat de rigiditate, duritate, rezistenţă la şoc, stabilitate la sarcini dinamice, foarte bună amortizare a şocurilor şi vibraţiilor, proprietăţi de alunecare bune şi o bună ţinută la uzură. Poliamidele îşi îmbunătăţesc proprietăţile mecanice prin adăugarea materialelor de ranforsare, mai ales a fibrelor de sticlă. Astfel se îmbunătăţeşte rezistenţa la tracţiune, rezistenţa la încovoiere, rezistenţa la torsiune, modulul de elasticitate, duritatea, rezistenţa la fluaj.

Sub acţiunea căldurii poliamidele rămân dure şi tenace, fără transformări vizibile până la 80...90°C. Deasupra acestei temperaturi suferă o îngălbenire uşoară cu modificarea uşoară a proprietăţilor mecanice. În absenţa solicitărilor se admite folosirea pieselor injectate până la 110...120°C.

Poliamidele prezintă proprietăţi electrice favorabile, având o rezistenţă electrică ridicată şi o mare rigiditate dielectrică, caracterul polar şi absorbţia mare de umiditate face ca încărcarea electrostatică să fie extrem de mică, depunerea prafului fiind aproape nulă.

Absorbţia apei din mediul ambiant este relativ mare în raport cu celelalte termoplaste, ceea ce implică modificări dimensionale ale pieselor injectate. Prezenţa fibrelor de sticlă în poliamidă determină o absorbţie redusă de apă.

Rezistența la îmbătrânire este redusă, iar rezistența la acțiunea microorganismelor este mare.

Proprietățile fizice ale poliamidei 6 și poliamida 6.6 se pot urmări în *tab.1.14.*

Comportarea la ardere:

- se aprinde greu și arde după îndepărtarea flăcării;
- în timpul arderii materialul se înmoaie și spumează;
- flacără galbenă spre bleu;
- viteză de ardere nulă spre lentă;
- miros de lână arsă;
- fum de culoare neagră.

Proprietăți chimice:

- stabile la baze slabe, esteri, eteri, hidrocarburi halogenate, alcool, benzine, benzoli, ulei, grăsime;
- instabile la acizi, baze concentrate, cetone.

Prelucrare. Prin excelenta fluiditate, solidificare rapidă și ușurința scoaterii din matriță, poliamidele se injectează ușor și permit obținerea de cicluri de injectare scurte.

În vederea prelucrării materialul plastic se usucă 2...3 ore la 60...80°C.

Presiunea de injectare se alege între 1000...1400 bari, presiunea ulterioară între 500...700 bari, iar contrapresiunea de dozare 50...100 bari. Se recomandă viteză de injectare rapidă.

În capul melcului trebuie folosită clapeta antiretur. În capătul cilindrului se folosesc duze deschise dar mai ales duze cu închidere. Se recomandă folosirea unor duze scurte și încălzirea cu corp de încălzire a duzei.

La oprirea mașinii nu este necesar să se purjeze cu alt material. Este permisă o ședere a materialului în cilindrul mașinii aproximativ 20 de minute. Dacă se depășește acest timp, materialul suferă degradări termice.

Valorile temperaturilor cilindrului de injectare și matriței pot fi urmărite în *fig.1.44.* și *fig.1.45.*

Prelucrări ulterioare. Poliamidele se pot prelucra mecanic cu sculele tipice pentru prelucrarea metalelor. Pentru poliamidele armate cu fibre de sticlă, la finisare se folosesc scule diamantate. Poliamidele pot fi sudate prin aducerea suprafețelor de îmbinat în stare plastică. Poliamidele pot fi lipite unele de altele sau cu alte materiale folosind adezivi care au în componența lor solvenți și poliamidă. Se pot suda și pot fi introduse inserții prin ultrasunete în piesele injectate.

1.6.2.3.2. Alte poliamide

Proprietățile fizice ale poliamidelor PA 6.10, PA 6.12, PA 11 și PA 12 pot fi urmărite în *tab.1.14.*

1.6.2.4. Poliolefine

Poliolefinele sunt polimeri termoplastici cristalini a căror structură le conferă proprietăți fizice deosebit de importante și anume: rezistență mecanică, rezistență termică și chimică foarte bună.

În mod frecvent pe mașinile de injectare se injectează următoarele tipuri de poliolefine: polietilena și polipropilena.

1.6.2.4.1. Polietilenă (PE)

Polietilenele sunt polimeri termoplastici rezultați din polimerizarea monomerului etilenă:

etilenă —*polimerizare*→ *polietilenă*

Structura macromoleculară este liniară cu un număr mai mic sau mai mare de ramificații.

Polietilenele fabricate prin diverse tehnologii se deosebesc prin valorile unor caracteristici ca: masa moleculară, grad de ramificare, cristalinitate, densitate, proprietăți mecanice, proprietăți termice, etc. Masa moleculară medie a polietilenelor este de 10.000

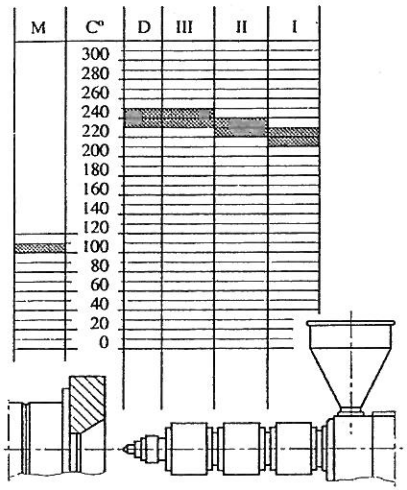


Fig.1.44. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea PA 6.

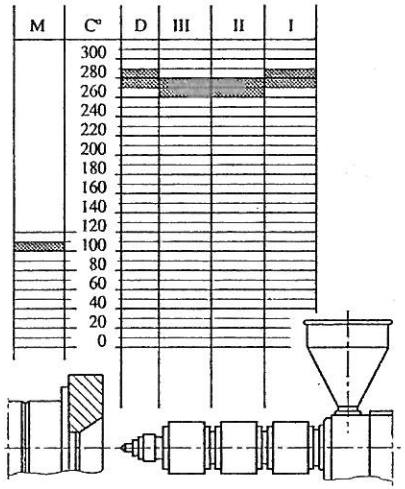


Fig.1.45. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea PA 6.6.

Tab.1.14. **Principalele proprietăți fizice ale poliamidelor.**

Proprietatea	U.M.	PA 6	PA 6.6	PA 6.10	PA 6.12	PA 11	PA 12
Densitatea	g/cm^3	1,14	1,14	1,07	1,07	1,04	1,04
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	48...82	62...83	58...60	61	58	56
Rezistența la compresie	N/mm^2	46...90	45...85	45...85	160	54	-
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	-	-	-	-	-	-
Duritate Rockwell	-	103...109	108...120	111	114	108	100...106
Alungire la rupere	%	50	40	70	70	200	200
Coeficient de dilatare termică	10^{-5}/°C	7	7	8	9	10	10
Căldura specifică	cal/g°C	0,4...0,6	0,3...0,5	0,3...0,5	0,3...0,5	0,4...0,6	0,3...0,5
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	10^{12}...10^{15}	10^{14}...10^{15}	10^{12}...10^{15}	10^{15}	10^{18}	10^{14}
Constanta dielectrică (60Hz)	-	3,9...5,5	3,4...3,6	3,5	3,5	3,2	4
Factorul de pierdere dielectrică (60Hz)	-	0,04...0,06	-	0,04	0,02...0,03	0,03	0,04...0,02
Absorbția de apă	%	2,8	2,5	1,2	1,2	0,8	0,7

la 100.000. Structura fizică a polietilenelor poate fi de la amorf la aproape cristalin complet.

După modul de obținere, polietilenele se împart în: polietilene de joasă densitate și polietilene de înaltă densitate.

1.6.2.4.1.1. Polietilena de joasă densitate (PEJD)

Denumire comercială: ARGETENA I, (România); HOSTALEN LD, BAYLON, GRISOLEN, LUPOLEN (Germania); LOTRENE, ESTYLENE, LACQTENE, PLASTYLENE (Franța); ESCORENE (Belgia); POLYETHYLENE (Danemarca); STAMYLAN LD (Olanda); CELENE, FERTENE, RIBLENE, SIRTENE (Italia); SUMIKATHENE, SHOLEX (Japonia); ALATHON, DYLAN, PETROTHENE, (S.U.A.).

Obținere. Polietilena de joasă densitate se obține industrial prin polimerizarea etilenei la presiune ridicată (1000...2000 daN/cm^2) folosind inițiatori peroxizi.

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă sub forme de granule transparente, opace sau divers colorate.

Obiectele injectate se pot folosi până la maximum 85...95°C în absența solicitărilor mecanice. Polietilena de joasă densitate are un grad de cristalinitate cuprins între 40...50%.

Exemple de utilizare. PEJD se folosește la: articole de uz casnic (pahare, castroane, recipienți, etc.), jucării, în industria electrotehnică, medicină, în construcții de mașini (garnituri, elemente de legătură, etc.), articole cosmetice, etc.

Proprietăți fizice. Polietilena de joasă densitate se caracterizează prin unele proprietăți fizice deosebite: rezistență mare la șoc, rezistență chimică deosebită, proprietăți dielectrice foarte bune, polimerul fiind considerat un electroizolant ideal.

Absorbția de apă este mică. Exploatarea polietilenei în condițiile atmosferice are ca efect: modificarea aspectului exterior, apariția de fisuri, materialele devenind casante și sfărâmicioase.

Proprietățile fizice ale polietilenei de joasă densitate pot fi urmărite în *tab.1.15.*

Comportarea la ardere:

- se aprind ușor și ard după îndepărtarea flăcării;
- flacăra este bleu cu margine galbenă;
- nu are fum și formează picături care pot arde;
- miros de parafină (ceară arsă).

Proprietăți chimice:

- stabil la acizi, baze, alcooli;
- stabilitate parțială la esteri, cetone, eteri, uleiuri, și grăsime;
- instabilitate la benzol, benzină, carburanți, tetraclorură de carbon.

Prelucrare. În vederea prelucrării, materialul se usucă 1...1,5 ore la 65°C.

Presiunea recomandată la injectare este cuprinsă între 500...1000 bari, presiunea ulterioară 250-500 bari, iar contrapresiunea 50...100 bari.

Se recomandă viteze mari de injectare pentru produse cu pereți subțiri. În alte cazuri sunt avantajoase viteze de injectare medii. La oprirea mașinii nu este necesar să se purjeze cu alt material.

Pentru prelucrarea polietilenei se recomandă duzele deschise și duzele cu închidere.

La construcția matriței se ia în considerare o contracție a materialului plastic de 1,5...4%.

Valorile temperaturilor cilindrului de injectare și matriței, pot fi urmărite în *fig.1.46.*

Prelucrări ulterioare. Polietilena de joasă densitate se poate uzina prin tăiere (cuțite, ghilotină, fierăstraie), așchiere (găurire, rabotare), presare, folosind scule cu profile adecvate, răcirea făcându-se cu jet de aer.

Îmbinarea pieselor injectate se poate realiza folosind sudarea cu gaz încălzit, cu element de încălzire, cu ultrasunete, prin frecare. Cu ajutorul ultrasunetelor se pot introduce în piesele injectate inserții metalice.

1.6.2.4.1.2. Polietilenă de înaltă densitate (PEID)

Denumire comercială: ARGETENA J (România); VESTOLEN A, HOSTALEN, LUPOLEN, POLYÄTHYLEN (Germania); LATENE HD (Franța); ALATHON, SUPER DYLAN, MARLEX, DOW POLYETHENE, PETROTHENE (S.U.A.); STAMILAN HD (Olanda); FLENRENE (Italia); HI-ZEX, MIRASON, NOVATEC, SUNTEC, YUKALON (Japonia); ELTEX (Belgia).

Obținere. Polietilena de înaltă densitate se obține industrial prin polimerizarea etilenei la presiune joasă (1...100daN/cm^2) cu catalizatori.

Tab.1.15. Principalele proprietăți fizice ale poliolefinelor.

Proprietatea	U.M.	PEJD	PEÎD	PP
Densitatea	g/cm^3	0,91...0,92	0,94...0,96	0,90...0,91
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	10...11	20...35	28...37
Rezistența la compresie	N/mm^2	28	17	37...55
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	-	19...25	42...55
Duritate Rockwell	-	11	30	85...110
Alungire la rupere	%	80...725	12...400	200...700
Coeficient de dilatare termică	10^{-5}/°C	10...20	11...30	3,8...30,6
Căldura specifică	cal/g°C	0,46...0,55	0,46...0,55	0,46
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	>10^{17}	10^{18}	>10^{16}
Constanta dielectrică (60Hz)	-	2,3	2,4	2,2...2,6
Factorul de pierdere dielectrică (60Hz)	-	<$5\cdot10^{-4}$	<$4\cdot10^{-4}$	<$5\cdot10^{-4}$
Absorbția de apă	%	0	0	0

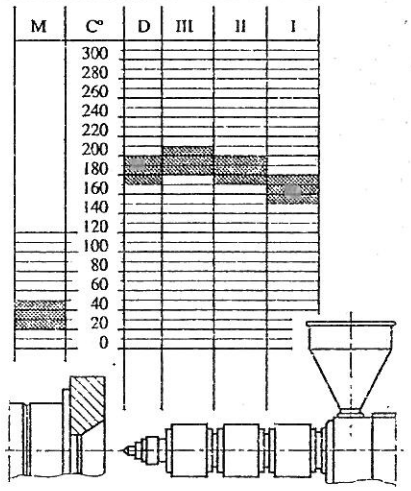


Fig.1.46. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea polietilenei de joasă densitate.

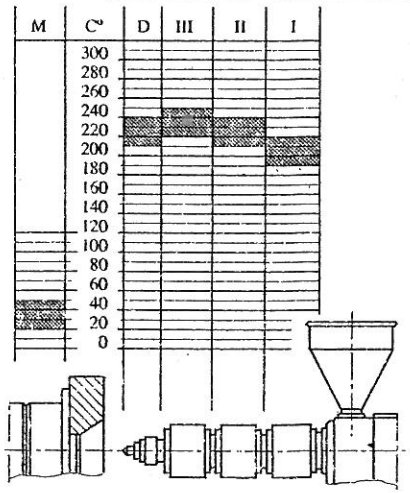


Fig.1.47. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea polietilenei de înaltă densitate.

Prezentare şi însuşiri generale. Se prezintă în formă de granule incolore, opace, colorate transparent sau colorate intens.

Este un polimer cu înaltă cristalinitate (60...80%). Piesele injectate se pot folosi până la temperatura de maximum 90...110°C. Polietilena de înaltă densitate se prezintă şi în variantă armată cu fibră de sticlă.

Exemple de utilizare. Polietilena de înaltă densitate se foloseşte în: construcţii civile şi industriale (armături, robinete, etc.), jucării, articole de uz casnic (castroane, cutii de alimente, etc.), ambalaje (containere, recipienţi, etc.), aparate medicale, articole tehnice diverse, etc.

Proprietăţi fizice. Materialul prezintă rezistenţă mecanică bună, rezistenţă la temperatură, duritate a suprafeţei, proprietăţi dielectrice foarte bune.

Absorbţia de apă este redusă.

Polietilena de înaltă densitate se prezintă şi în variantă armată cu fibră de sticlă, caz în care rigiditatea, duritatea şi rezistenţa mecanică cresc.

Principalele proprietăţi ale polietilenei de înaltă densitate pot fi urmărite în *tab.1.15.*

Comportarea la ardere:

- se aprinde uşor şi arde după îndepărtarea flăcării;
- flacăra este bleu cu margine galbenă;
- nu are fum şi formează picături care pot arde;
- miros de parafină (ceară arsă).

Proprietăţi chimice:

- stabil la acizi, baze, alcooli;
- stabilitate parţială la esteri, cetone, eteri, uleiuri şi grăsime;
- instabil la tetraclorură de carbon, benzină, carburanţi, benzol.

Prelucrare. În vederea prelucrării materialul se usucă 1...1,5 ore la 65°C. La capătul melcului se foloseşte clapeta antiretur.

Presiunea de injectare se recomandă între 600...1500 bari, presiunea ulterioară 400...600 bari, iar contrapresiunea 80...100 bari. La oprirea maşinii nu este necesară purjarea cu alt material.

La construcţia matriţei se ia în considerare o contracţie a materialului plastic de 1,5...4%.

Valorile temperaturilor cilindrului de injectare şi matriţei pot fi urmărite în *fig.1.47.*

Prelucrări ulterioare. Polietilena de înaltă densitate se poate prelucra mecanic prin tăiere (cu cuţite ghilotină, fierăstraie), aşchiere (găurire, rabotare, frezare) folosind scule cu profile adecvate, răcirea făcându-se cu jet de aer.

Îmbinarea pieselor se poate face folosind sudura cu gaz încălzit, cu element de încălzire, cu ultrasunete şi prin frecare.

Prin ultrasunete se poate face şi introducerea inserţiilor metalice în piesa injectată.

1.6.2.4.2. Polipropilenă (PP)

Denumire comercială: MIDILENA P (România); HOSTALEN PP, VESTOLEN P, POLYPROPYLEN, NOVOLEN (Germania); PROPATHENE, FORMID (Anglia); ROCALENE, LATENE EP, APPRYL (Franţa); POLYPROPYLENE (Danemarca); ESCORENE, ELTEX P (Belgia); MOPLEN, KASTILENE (Italia); DAPLEN (Austria); STAMYLAN (Olanda); EL REX, ESCON, PETROTHENE, PRO-FAX, STARFLAM PP (S.U.A.); NOBLENE, CHISO POLYPRO, MPC POLYPRO (Japonia).

Obţinere. Rezultă din polimerizarea propilenei:

$$\text{propilenă} \xrightarrow[\text{catalizatori (complecşi metalici)+alţi monomeri}]{\text{polimerizare}} \text{polipropilenă}$$

Cel mai răspândit procedeu industrial de fabricare a polipropilenei este acela prin care se obţine un polimer izotactic cu grad înalt de cristalinitate. Fracţiunile amorfe rezultate din proces în cantitate mai mică sunt eliminate prin solubilizare în diferiţi solvenţi. Tipurile de polipropilenă se clasifică în funcţie de: construcţia chimică, destinaţie, indice de fluiditate, aditivii din compoziţie.

Prezentare şi însuşiri generale. Se prezintă sub formă de granule, transparente, opace sau divers colorate.

Obiectele injectate se pot folosi, în absenţa solicitărilor mecanice, până la 130...140°C.

Exemple de utilizare. Polipropilena se foloseşte în: articolele de uz casnic (pahare, castroane, recipienţi, etc.), jucării, în industria electrotehnică şi electronică, tehnica medicală, articole de cosmetică, etc.

Proprietăţi fizice. Polipropilena în comparaţie cu polietilena are rezistenţa la tracţiune, modulul, rigiditatea, rezistenţa la flexiune, rezistenţa la căldură mai mare. Claritatea, luciul, rezistenţa la radiaţii ultraviolete, rezistenţa la şoc (îndeosebi la temperaturi mici) sunt mai mici decât a polietilenei. Materialul se poate steriliza până la 120°C.

Proprietăţile dielectrice ale polipropilenei sunt comparabile cu ale polietilenei şi nu sunt influenţate de umiditate, deoarece absorbţia de apă este neglijabilă.

La temperaturi ridicate şi în prezenţa aerului are loc o oxidare parţială a polipropilenei al cărei efect constă în degradarea proprietăţilor mecanice.

Proprietăţile fizice ale polipropilenei se pot urmări în *tab.1.15.*

Comportarea la ardere:

- se aprinde uşor şi arde după îndepărtarea flăcării;
- gonflează, picură, se întăreşte la suprafaţă;
- flacăra este albastră cu extremităţile galbene;
- viteza de ardere este lentă;
- miros dulceag de ceară arsă.

Proprietăţi chimice. În comparaţie cu polietilena, rezistenţa la agenţi chimici a polipropilenei este mai bună:

- este rezistentă la acizi şi baze slabe, soluţii de săruri anorganice;
- este instabilă la acizi concentraţi, baze concentrate, tetraclorură de carbon, benzină, carburanţi, benzoli;
- stabilitate parţială la alcooli, cetone, eteri, esteri, ulei şi grăsimi.

Prelucrare. Este un material termoplastic ce se prelucrează în condiţii foarte bune.

Polipropilena nu absoarbe deloc apă şi deci nu are nevoie de uscare. Când granulele sunt umede datorită transportului sau depozitării, acestea se pot usca uşor prin încălzire la 50...60°C.

Presiunea de injectare se recomandă între 800...1800 bari. Se recomandă menţinerea presiunii de injectare 10...20 secunde. Presiunea ulterioară este 40...80% din presiunea de injectare, iar contrapresiunea la dozare 80...100 bari. Pentru prelucrarea polipropilenei sunt folosite duze deschise, duze cu închidere cu arc, duze cu închidere cu acţionare hidraulică, duze cu închidere cu sertar. La construcţia matriţei de injectare se ia în considerare contracţia materialului plastic de 1.2...2,5%.

Se recomandă viteze mari de injectare. La oprirea maşinii nu este necesară purjarea cu alt material.

Valorile temperaturilor cilindrului de injectare şi matriţei pot fi urmărite în *fig.1.48.*

Prelucrări ulterioare. Polipropilena se poate prelucra mecanic cu scule tipice pentru prelucrarea metalelor.

Sudarea cu ultrasunete este bună şi foarte bună la polipropilena armată cu fibre de sticlă. Nituirea cu ultrasunete se poate realiza în bune condiţii. Introducerea inserţiilor me-

talice prin ultrasunete este limitată, dar devine favorabilă în cazul polipropilenei armată cu fibră de sticlă.

Sudarea a două piese injectate este posibilă prin intermediul căldurii şi presiunii, cu sau fără aport de material.

Piesele injectate se pot marca la cald. Metalizarea în vid este posibilă numai dacă se face o pretratare electrică.

1.6.2.5. Polimetacrilat de metil (PMMA)

Denumire comercială: LUCRYL, PLEXIGLAS, RESARIT (Germania); DIAKON (Anglia); ALTUGLAS, OROGLAS (Franţa); LACRILEX (Italia); ACRYLYTE, LUCYTE (S.U.A.); DELPET, SUMIPEX (Japonia).

Obţinere. Polimetacrilatul de metil este un polimer termoplastic care face parte din familia polimerilor metacrilici care au la bază monomeri derivaţi din acizii metacrilici. Se obţine astfel:

metacrilat de metil $\xrightarrow{\text{polimerizare}}$ *polimetacrilat de metil*

Prezentare şi însuşiri generale. Se prezintă în formă de granule şi perle transparente sau divers colorate. Materialul rezistă până la o temperatură de 70...90°C în absenţa solicitărilor mecanice.

Exemple de utilizare. Polimetacrilatul de metil se foloseşte în industria optică (lentile), articole de toaletă, piese tehnice diverse, articole de uz casnic, medicină, aeronautică, industria de automobile, etc.

Proprietăţi fizice. PMMA prezintă claritate şi transparenţă ridicată (aprox. 92% transmisie de lumină). Are o bună rezistenţă la îmbătrânire şi agenţi atmosferici.

Proprietăţile mecanice sunt bune, piesele injectate prezentând şi o bună stabilitate dimensională.

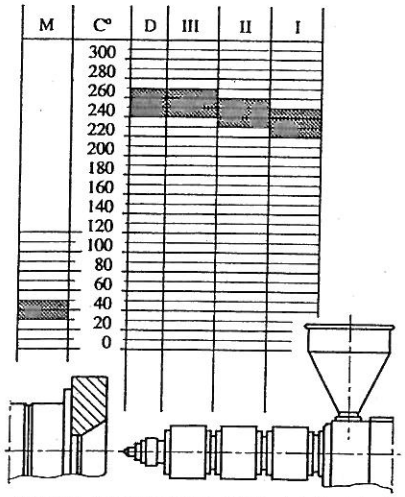


Fig.1.48. Temperaturile cilindrului de injectare şi matriţei la prelucrarea polipropilenei.

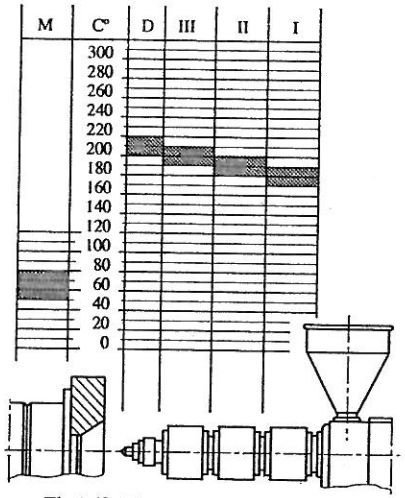


Fig.1.49. Temperaturile cilindrului de injectare şi matriţei la prelucrarea PMMA.

Tab.1.16. **Principalele proprietăţi fizice ale polimetacrilatului de metil.**

Proprietatea	U.M.	PMMA
Densitatea	g/cm^3	1,17...1,20
Rezistenţa la tracţiune	N/mm^2	75...90
Rezistenţa la compresie	N/mm^2	82...120
Rezistenţa la încovoiere	N/mm^2	90...120
Duritate Rockwell	-	85...105
Alungire la rupere	%	2...10
Coeficient de dilatare termică	$10^{-5}/°C$	5...9
Căldura specifică	cal/g°C	0,35
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	10^{14}
Constanta dielectrică (60Hz)	-	3,5...4,5
Factorul de pierdere dielectrică (60Hz)	-	$(4...6)10^{-2}$
Absorbţia de apă	%	0,3

Prezintă proprietăţi electrice bune. Nu are gust şi miros. Absoarbe uşor praful din aer datorită încărcării cu sarcini electrostatice.

Principalele proprietăţi fizice ale polimetacrilatului de metil sunt prezentate în *tab.1.16.*

Comportarea la ardere:

- se aprinde uşor şi arde după îndepărtarea flăcării;
- arde cu jeturi;
- flacăra este strălucitoare, albastră, cu extremitatea galbenă;
- miros aromatic de fructe.

Proprietăţi chimice:

- rezistent la acizi slabi, baze slabe, benzoli, ulei şi grăsime;
- stabilitate limitată la alcooli;
- instabil la acizi şi baze concentrate, esteri, cetone, tetraclorură de carbon, benzină şi carburanţi.

Prelucrare. Polimetacrilatul de metil este un material higroscopic care absoarbe apa din mediul înconjurător în concentraţie de 0,3...0,5%. Înainte de prelucrare se supune operaţiei de uscare la 70...100°C timp de 6...8 ore.

Datorită vâscozităţii ridicate parametrii de prelucrare ai PMMA se reglează cu atenţie.

Presiunile de injectare sunt cuprinse între 1000...1600 bari, presiunea ulterioară 500...800 bari, iar contrapresiunea de dozare 100...400 bari. Viteza de injectare depinde de grosimea pereţilor piesei injectate.

La oprirea maşinii nu este necesară purjarea cu alt material.

La construcţia matriţei se ia în considerare o contracţie a materialului termoplastic cuprinsă între 0,4...0,7%.

Pentru injectare se folosesc la cilindrul maşinii de injectat duze deschise, duze cu închidere cu arc, duze cu închidere cu acţionare hidraulică. Nu se recomandă duzele cu sertar. Capul melcului se va folosi fără clapetă antiretur.

Temperaturile cilindrului şi matriţei la prelucrarea PMMA sunt prezentate în *fig.1.49.*

Prelucrări ulterioare. Lipirea cu ultrasunete se foloseşte atât pentru piesele injectate din PMMA cât şi pentru piese din PMMA cu piese din ABS şi SAN. Nituirea cu ultrasunete se poate face în bune condiţii.

1.6.2.6. Poliacetal. Polioximetilen (POM)

Denumire comercială: HOSTAFORM, ULTRAFORM (Germania); DELRIN, DURACON, CELCO, STRAGLAS POM, STAR-L POM (S.U.A.); KEMATAL, VERTON KA

(Anglia); DAICEL (Japonia); LATAN (Franța); SNIATAL (Italia).

Obținere. Din grupa poliacetalilor fac parte polimerii de tipul: poliformaldehidă, poliacetaldehidă, poliacetonă, etc., împreună cu polimerii, homopolimerii și derivații respectivi. Principalele tipuri de polimeri puși în fabricație industrială sunt cei pe bază de formaldehidă, cu denumirea și de polioximetilene. Procesul de obținere al poliformaldehidei este următorul:

$$\text{formaldehidă} \xrightarrow{\text{polimerizare}} \text{poliformaldehidă}$$

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă în formă de granule opace sau divers colorate.

Polimerii prezintă structură sintetică cu grad înalt de cristalinitate, ce variază între 50...80%, funcție de polimerizare. Piesele injectate își păstrează proprietățile mecanice și la temperaturi joase (-40°C) și se pot folosi până la 100°C în absența solicitărilor mecanice.

Exemple de utilizare: Datorită proprietăților sale deosebite, rigiditate, stabilitate dimensională, rezistență mecanică, poliacetalii se folosesc în: industria de automobile (mânere, bușoane de rezervor, etc.), industria mecanică fină (carcase, leviere, roți dințate, etc.), aparate electrocasnice, instalații sanitare, construcția mașinilor din industria textilă, fermoare injectate, etc.

Proprietăți fizice. Poliacetalii sunt materiale cu rezistență mecanică, rigiditate și duritate ridicată. Piesele injectate prezintă deasemenea rezistență mărită la șoc, coeficient de frecare redus și o rezistență mărită la uzură. Una din proprietățile caracteristice ale poliacetalului este stabilitatea termică, având o mare rezistență la degradarea prin oxidare. Poliacetalii pot fi folosiți între -40...+140°C. Temperatura maximă de utilizare (+140°C) este pentru durată scurtă (câteva ore). Rezistența la îmbătrânire în aer liber este ridicată dacă temperatura nu depășește 100°C.

Poliacetalii prezintă bune caracteristici dielectrice fiind un bun izolator cu largă folosință în electrotehnică.

Principalele proprietăți fizice ale poliacetalilor sunt prezentate în *tab.1.17.*

Comportarea la ardere:

- se aprinde ușor și arde după îndepărtarea flăcării;
- flacăra este albastră;
- picură cu picături care pot arde;
- mirosul este de formaldehidă.

Proprietăți chimice:

- rezistent la acizi slabi, baze slabe (copolimeri poliacetali) și la baze tari, benzoli, benzine, uleiuri, alcooli
- instabil la acizi concentrați.

Prelucrare. Prin fluiditatea sa foarte bună, poliacetalul este un material foarte bun pentru a realiza piese complicate cu o bună stabilitate dimensională.

Se recomnadă pentru injectare o presiune cuprinsă între 1200...1700 bari, o presiune ulterioară de 500...800 bari și o contrapresiune de dozare de 80...120 bari. Formarea piesei injectate în matriță este favorizată de o viteză mare de injectare.

La oprirea mașinii se întrerupe încălzirea 5...10 min. înainte de terminarea producției și se fixează contrapresiunea la zero. Se purjează materialul până când cilindrul este gol. Când se trece la alt material, de exemplu PC sau PA, se purjează cu polietilenă de înaltă densitate. Melcul trebuie să fie dotat cu clapetă antiretur.

Pentru injectarea poliacetalului se folosesc duze deschise, duze cu închidere acționate hidraulic. Nu se folosesc duzele cu închidere cu acționare cu arc. Toate tipurile de duze trebuie dotate cu corp de încălzire cu încălzire reglabilă.

Tab.1.17. **Principalele proprietăți fizice ale poliacetalilor.**

Proprietatea	U.M.	POM
Densitatea	g/cm^3	1,41...1.42
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	62...70
Rezistența la compresie	N/mm^2	110...125
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	91...98
Duritate Rockwell	-	80..90
Alungire la rupere	%	8...12
Coeficient de dilatare termică	$10^{-5}/°C$	8,1...8.5
Căldura specifică	cal/g°C	0,33...0,35
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	$10^{14}...10^{15}$
Constanta dielectrică (60Hz)	-	3,7
Factorul de pierdere dielectrică (60Hz)	-	$(4,8...6)10^{-4}$
Absorbția de apă	%	0,2...0,9

La construcția matriței se ia în considerare o contracție a materialului plastic de 1,5...2,8%.

În timpul prelucrării trebuie acordată atenție degajării mirosului de formaldehidă.

Temperaturile cilindrului și matriței la prelucrarea poliacetalilor sunt prezentate în *fig.1.50.*

Prelucrări ulterioare. Piesele injectate din poliacetali se pot supune prelucrărilor mecanice fără dificultăți deosebite.

Sudarea poliacetalului se poate face folosind procedeele: cu element de încălzire, prin fricțiune, cu gaz încălzit, prin ultrasunete.

Nituirea în vederea asamblării se face prin ultrasunete. Se pot introduce inserții metalice folosind ultrasunete.

Piesele din poliacetal se pot marca la cald cu folii de imprimare, temperatura poansonului fiind de 100...200°C funcție de tipul foliei de marcare.

Piesele din poliacetali se pot metaliza în vid cu aluminiu, se pot picta, se pot imprima serigrafic.

1.6.2.7. Policarbonat (PC)

Denumire comercială: OLTILON (România); APEC HT, MAKROLON (Germania); LEXAN, MERLAN, CARBAGLAS (S.U.A.); JUPILON, PANLITE (Japonia); SINVET (Italia); XANTAR (Olanda); LATILON, STAGLAS PC, STAR-C PC (Franța).

Obținere. Policarbonații sunt compuși macromoleculari din clasa poliesterilor obținuți din difenoli și acid carbonic (sau derivați). În general au schema generală de fabricație:

ester policarbonic→polimer soluție→polimer pulbere + aditivi→policarbonat compoundat

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă în formă de granule natur sau divers colorate.

Policarbonații sunt polimeri termoplastici cu structură amorfă și se remarcă printr-o serie de proprietăți ce depind de masa moleculară și natura componentelor.

Piesele injectate rezistă în condiții de exploatare, în lipsa sarcinilor mecanice, până la o temperatură de 110...135°C.

Exemple de utilizare. Datorită proprietăților sale deosebite, policarbonatul este folosit în: industria electrotehnică și electronică, aparatură electrocasnică, industria de automobile, echipamente de iluminat, instrumente muzicale, jucării, ambalaje, etc.

Proprietăți fizice. Policarbonatul prezintă câteva proprietăți deosebit de avantajoase:

rezistențe mecanice ridicate la temperaturi înalte și coborâte, termostabilitate până la 135°C, rezistență la frig până la -100°C, bune proprietăți dielectrice care rămân constante până la 140°C, absorbție mică de apă, ceea ce conferă pieselor o mare stabilitate dimensională, rezistență chimică ridicată, poate fi sterilizat.

Principalele proprietăți fizice ale policarbonatului pot fi urmărite în *tab.1.18.*

Comportare la ardere:

- se aprinde greu și arde după îndepărtarea flăcării;
- se înegrește, picură, se descompune;
- flacăra este galbenă;
- arderea este lentă;
- miros de guașă.

Proprietăți chimice:

- rezistent la acizi slabi, alcool, benzină, uleiuri, grăsimi;
- stabilitate parțială la acizi concentrați, baze slabe;
- instabil la baze concentrate, cetone, eteri, tertaclorură de carbon, benzol.

Prelucrare. Înainte de prelucrare se usucă 8...10 ore la 120...130°C.

Presiunea de injectare este 1300...1800 bari, presiunea ulterioară 40...60% din presiunea de injectare, iar contrapresiunea la dozare este de 50...150 bari. Clapeta antiretur este permisă la capătul melcului.

La oprirea mașinii se purjează materialul pentru golirea cilindrului, coborând și temperatura la 160°C. Dacă cilindrul trebuie curățat, se purjează cu polietilenă, după care se scoate melcul și se curăță materialul rezidual cu o perie de sârmă din alamă.

Pentru prelucrarea policarbonatului sunt recomandate următoarele tipuri de duze: duze deschise, duze cu închidere cu arc sau acționare hidraulică, duze cu închidere cu sertar.

La construcția matriței se ia în considerare o contracție a materialului plastic de 0,4...0,8%. Temperaturile cilindrului și matriței la prelucrarea policarbonatului sunt prezentate în *fig.1.51.*

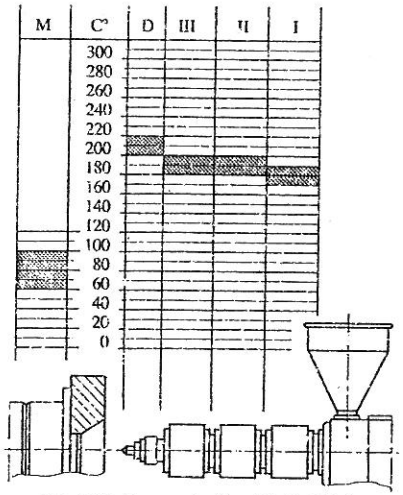


Fig.1.50. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea poliacetalului.

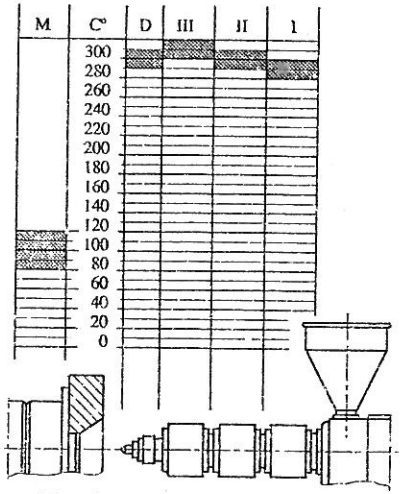


Fig.1.51. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea policarbonatului.

Prelucrări ulterioare. Piesele din policarbonat se pot prelucra mecanic (strunjire, găurire, etc.) folosind ca agent de răcire aerul sau apa.

Piesele din policarbonat se pot asambla prin lipire cu solvent sau adeziv, lipire prin compresie, sudare termică sau ultrasunete.

Nituirea se poate face în condiții foarte bune prin ultrasunete. Ultrasunetele se pot folosi cu succes pentru a introduce inserții metalice. Se poate metaliza în vid cu aluminiu.

Tab.1.18. **Principalele proprietăți fizice ale policarbonatului.**

Proprietatea	U.M.	PC
Densitatea	g/cm^3	1,20...1.25
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	56...66
Rezistența la compresie	N/mm^2	70...86
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	90...95
Duritate Rockwell	-	70
Alungire la rupere	%	60...100
Coeficient de dilatare termică	10^{-5}/°C	6,6
Căldura specifică	cal/g°C	0,3
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	$2{,}1 \cdot 10^{16}$
Constanta dielectrică (50Hz)	-	3,17
Factorul de pierdere dielectrică	-	$9 \cdot 10^{-4}$
Absorbția de apă	%	0,4

1.6.2.8. Policlorură de vinil și polimeri vinilici

Policlorura de vinil are masa moleculară medie cuprinsă între 10.000 și 100.000 și un conținut de clor de aproximativ 57%. Se obține din polimerizarea monomerului clorură de vinil:

$$\text{clorură de vinil} \xrightarrow{\text{polimerizare}} \text{policlorură de vinil}$$

În funcție de sistemul de polimerizare se deosebesc tipurile de PVC: emulsie, suspensie în masă, special.

Policlorurii de vinil i se adaugă în vederea îmbunătățirii prelucrabilității și folosirii diferiți aditivi, plastifianți, lubrifianți, coloranți, materiale de umplutură, etc.

Compoundurile pentru injectare se produc din PVC suspensie sau emulsie (când nu se cere transparență produselor injectate), obținându-se: PVC rigid și PVC plastifiat.

Denumire comercială: OLTVIL, ROSEVIL (România); HOSTALIT, VESTOLIT, VINNOL, VINOFLEX (Germania); SOLVIC (Belgia); KONINOR, IRVINIL, PLIOVIC, MARVINOL (S.U.A.); CARINA, CORVIC, VYBAC, BREON, WELVIK (Anglia); EKAVYL, LACQVYL, LUCOVIL (Franța); HALVIC (Austria); VIPLA, VIPLAST, VIXIN, RAVINIL (Italia); DANUVIL (Ungaria); VINKA, KANEVIL, VINYCHLON (Japonia).

1.6.2.8.1. Policlorură de vinil rigidă (PVC-D)

Obținere. Policlorura de vinil rigidă se obține din PVC suspensie sau emulsie cu valoarea K 50...60 cu compounduri, fără plastifiant.

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă sub formă de pulbere transparentă sau divers colorată. Produsele din PVC rigid au o rezistență mare la coroziune,

putând fi folosite până la o temperatură de 60...70°C în absența solicitărilor mecanice.

Exemple de utilizare. Datorită proprietăților sale se folosește în: construcții (armături, fitinguri, etc.), piese componente pentru pompele care lucrează în condiții de coroziune, discuri pentru picup, piese izolatoare pentru industria electrotehnică, piese pentru industria foto, piese cu destinație diversă.

Proprietăți fizice. Policlorura de vinil rigidă este un material termoplastic cu rezistență mecanică ridicată, duritate mare, stabilitate dimensională și foarte bune calități dielectrice, ceea ce îl recomandă ca un bun izolator.

Comparativ cu alte materiale plastice, PVC rigid are o rezistență slabă la șoc și foarte slabă în cazul existenței fisurilor sau la temperaturi joase.

Policlorura de vinil, deși este unul din cele mai rezistente materiale la intemperii, suferă totuși în timpul utilizării o degradare fotooxidativă. Deasemenea în timpul prelucrării materialul poate suferi degradări termice.

Principalele proprietăți fizice ale PVC rigid sunt prezentate în *tab.1.19.*

Comportarea la ardere:

- se aprinde foarte greu și se autostinge după îndepărtarea flăcării: materialul se înmoaie și se carbonizează;
- flacăra este verde pe fir de cupru;
- miros acru de acid clorhidric.

Proprietăți chimice:

- rezistent la acizi și baze, alcooli, benzină, ulei, grăsime;
- instabil la esteri, cetone, eteri, tetraclorură de carbon, carburanți, benzoli.

Prelucrare. Presiunea recomandată pentru injectare cuprinde un domeniu între 900...1800 bari. Presiunea ulterioară este cuprinsă între 30...60% din presiunea de injectare, iar contrapresiunea la dozare până la 500 bari.

Datorită acțiunii corozive a materialului topit, atât cilindrul cât și melcul mașinii de injectare se protejează prin cromare.

La construcția matriței se ia în considerare o contracție a materialului plastic de 0,2...0,5%.

Suprafața matriței care vine în contact cu materialul plastic se cromează pentru a o feri de acțiunea corozivă a materialului plastic topit.

La prelucrarea PVC se folosesc duze deschise.

Temperaturile cilindrului și matriței la prelucrarea PVC rigid sunt prezentate în *fig.1.52.*

Prelucrare ulterioară. Nituirea cu ultrasunete se face în bune condiții. Se pot introduce inserții metalice cu ajutorul ultrasunetelor.

Tab.1.19. **Principalele proprietăți fizice ale PVC.**

Proprietatea	U.M.	PVC		
		rigid	plastifiat	clorurat
Densitatea	g/cm^3	1,35...1.45	1,15...1.35	1,5...1.6
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	34...62	7...25	42...62
Rezistența la compresie	N/mm^2	55...90	7...12	-
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	70...100	funcție de plastifiere	100
Duritate Rockwell	-	65...85	40...100	82...86
Alungire la rupere	%	2...4	200...450	3,5...7,5
Coeficient de dilatare termică	10^{-5}/°C	5...18.5	7...25	7
Căldura specifică	cal/g°C	0,2...0,28	0,3...0,5	-
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	10^{16}	10^{11}...10^{13}	10^{15}...10^{16}
Constanta dielectrică (50Hz)	-	3,2...3,6	5...9	3,2...3,6
Factorul de pierdere dielectrică	-	0,007...0,02	0,008...0,15	0,02
Absorbția de apă	%	0,4	0,8	0,1

1.6.2.8.2. Policlorură de vinil plastifiată (PVC-M)

Obținere. Policlorura de vinil plastifiată se obține din PVC suspensie sau emulsie cu K 55...65 în compounduri cu 10...60% plastifianți.

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă în formă de granule cilindrice sau cubice, transparente sau divers colorate. Domeniul de folosință al produselor injectate este cuprins între 40...70°C, în absența solicitărilor mecanice.

Exemple de utilizare. Se folosesc la: fabricarea elementelor tampon pentru aparate de radio și telefoane, jucării (anvelope, șenile, elemente de transmisie, etc.), industria încălțămintei (tălpi), piese pentru instalații, etc.

Proprietăți fizice. Proprietățile fizice ale PVC plastifiat diferă de cele ale PVC rigid cu atât mai mult cu cât conținutul de plastifiant este mai mare. Prezența plastifiantului determină următoarele modificări: modulul de elasticitate scade cu conținutul de plastifiant, duritatea scade cu conținutul de plastifiant, fragilitatea depinde de natura plastifiantului, căldura specifică este influențată de cantitatea de plastifiant, proprietățile dielectrice sunt influențate de cantitatea și natura plastifiantului.

Proprietățile fizice ale PVC plastifiat sunt prezentate în *tab.1.19.*

Comportarea la ardere:

- se aprinde greu și arde după îndepărtarea flăcării;
- flacără verde, uneori strălucitoare în funcție de plastifiant;
- miros de clor.

Proprietăți chimice:

- rezistent la acizi și baze slabe;
- stabilitate parțială la acizi și baze concentrate, ulei, grăsime;
- instabil la alcooli, esteri, cetone, eteri, tetraclorură de carbon, benzol, benzină, carburanți.

Prelucrare. Presiunea de injectare se recomandă să fie cuprinsă între 600...1000 bari, presiunea ulterioară între 30...50% din presiunea de injectare, iar contrapresiunea la dozare 50...100 bari.

Viteza de injectare nu trebuie să fie prea ridicată. Unde se poate se folosește viteza în trepte.

La oprirea mașinii se oprește încălzirea și se plastifiază fără contrapresiune, iar apoi se purjează de mai multe ori.

Se recomandă pentru injectare duze deschise. Cilindrul și melcul mașinii de injectat se cromează pentru a fi ferite de acțiunea corozivă a materialului topit.

La contructia matriței se ia în considerare o contracție a materialului plastic de 1,5...3%. Suprafața matriței care vine în contact cu materialul plastic se cromează.

Injectarea PVC ridică probleme datorită instabilității materialului plastic la temperatura de topire, motiv pentru care se evită staționarea un timp mai îndelungat în cilindrul de injectare.

Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la injectarea PVC plastifiat pot fi urmărită în *fig.1.53.*

1.6.2.8.3. Policlorură de vinil clorurată (PVC-C)

Obținere. Policlorura de vinil clorurată este un PVC cu adaos de clor, cu un conținut de 64...70% clor.

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă sub formă granulată sau pulbere divers

colorată.

Regimul de folosire al pieselor injectate este de 80...90°C, în absența solicitărilor mecanice.

Exemple de utilizare: piese componente și ventile la instalațiile din industria chimică, piese în galvanotehnie, piese componente electrice ce lucrează în mediu coroziv, etc.

Proprietăți fizice. Prezintă rezistență mică, duritate, calități dielectrice bune, stabilitate la căldură până la 105°C, rezistență la ardere.

Principalele proprietăți fizice sunt prezentate în *tab.1.19.*

Comportare la ardere:

- după aprindere se autostinge;
- flacără foarte fierbinte, strălucitoare, cu scântei;
- miros de acid clorhidric.

Proprietăți chimice:

- materialul este foarte rezistent la coroziune;
- rezistă la acizi, baze, alcooli, cetone, benzoli, tetraclorură de carbon.

Prelucrare. Cilindrul și melcul mașinii de injectat se confecționează din materiale rezistente la coroziune sau se protejează împotriva coroziunii prin cromare.

La construcția matriței se ia în considerare o contracție a materialului plastic de 0,5...0,6%.

Temperaturile cilindrului și matriței la prelucrarea policlorurii de vinil clorurate pot fi urmărite în *fig.1.54.*

1.6.2.8.4. Alți polimeri vinilici

Policlorura de viniliden (PVDC).

- se obține prin polimerizarea în masă sau emulsie a monomerului de clorură de viniliden;

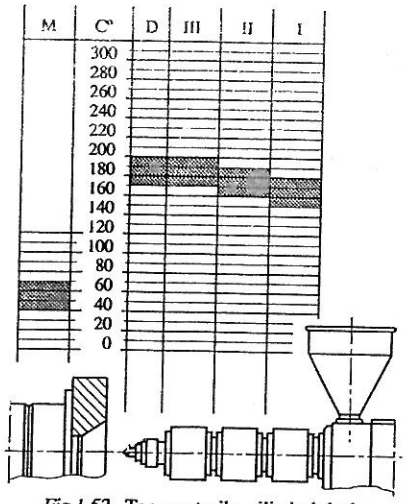


Fig.1.52. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea PVC rigidă.

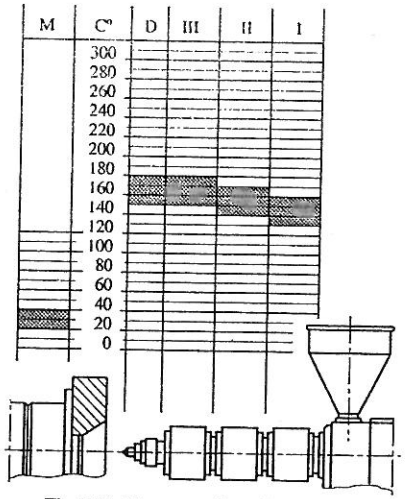


Fig.1.53. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea PVC plastifiată.

- se prezintă sub formă de pulbere sau perle de culoare albă gălbuie cu cristalinitate parțială;
- temperatura de prelucrare este între 150...205°C.

Polivinil butiral (PVB).

- face parte din grupa polivinil-acetal, realizat prin policondensarea acetatului de vinil cu aldehide;
- se prezintă sub formă de pulbere albă-crem, cu densitatea aproximativ 1,2 g/cm^3;
- temperatura de prelucrare este între 120...170°C.

Polivinil formal (PVFM).

- face parte din grupa polivinil-acetal, realizat prin policondensarea acetatului de vinil cu aldehide;
- se prezintă sub formă de pulbere incoloră puțin gălbuie cu densitatea de aproximativ 1,23 g/cm^3;
- temperatura de prelucrare este între 150...205°C.

1.6.2.9. Polimeri fluorurați

Polimerii fluorurați fac parte dintr-o clasă de compuși macromoleculari în care atomii de hidrogen sunt înlocuiți total sau parțial cu atomi de fluor. Polimerii cu fluor au masa moleculară cuprinsă între 10.000 și 100.000 și se remarcă prin unele proprietăți deosebite, care se datoresc structurii, forțelor intramoleculare mari și simetriei moleculei.

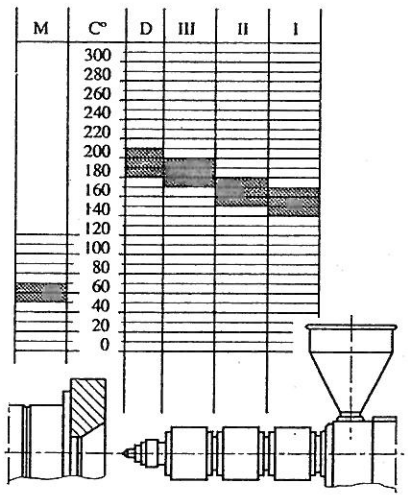


Fig.1.54. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea PVC clorurată.

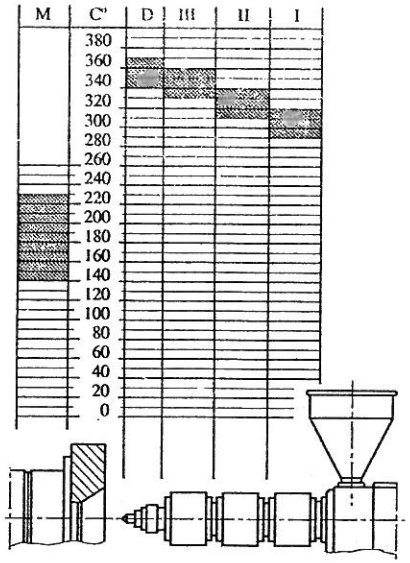


Fig.1.55. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea PTFE.

Principalele proprietăți ale polimerilor cu fluor sunt:

- *proprietăți avantajoase*: stabilitate termică bună într-un domeniu larg de temperatură (-250...260°C), rezistență chimică la majoritatea agenților chimici cu excepția sărurilor alcaline metalice și ale compușilor cu fluor, coeficient de frecare scăzut, rezistență bună la abraziune, proprietăți dielectrice bune, rezistență la razele ultraviolete, rezistență la îmbătrânire, practic fără absorbție de apă;
- *proprietăți dezavantajoase față de alți polimeri*: greutate specifică mai mare, prelucrabilitate greoaie, coeficient de dilatare și contracție mare, cost ridicat.

Tipurile principale de polimeri cu fluor sunt: politetrafluoretilena, policlorfluoretilena, polifluorura de viniliden.

1.6.2.9.1. Politetrafluoretilena (PTFE)

Denumire comercială: HOSTAFLON (Germania); FLUON (Anglia); ALGOFLON (Italia); TEFLON, PLASKON (S.U.A.); FLUON, DAIKIN (Japonia).

Obținere: Politetrafluoretilena se obține prin polimerizarea tetrafluoretilenei:

$$\textit{tetrafluoretilenă} \xrightarrow{\textit{polimerizare}} \textit{politetrafluoretilenă}$$

Prezentare și însușiri generale. Materialul se livrează sub formă de granule transparente sau divers colorate.

Temperatura de utilizare a pieselor injectate, în absența solicitărilor mecanice, este de 250°C.

Exemple de utilizare. Se folosește la: construcția de vehicule (garnituri, furtune de legătură, scaune de suprafață, etc.), construcția de mașini (lagăre, cursoare, inele de piston pentru compresoare, garnituri pentru pompe și autoclave, valțuri pentru mașini textile, etc.), aparate pentru industria chimică (pompe cu roți dințate și pompe centrifuge, plăci filtrante, aparate de laborator, etc.), electrotehnică (stechere, socluri pentru tuburi electronice, etc.), etc.

Proprietăți fizice. Materialul prezintă rezistență ridicată la temperaturi înalte, păstrându-și proprietățile mecanice și electrice până la 260°C. Are coeficient de frecare foarte scăzut. Este practic incasabil, devenind fragil numai la -265°C.

Principalele proprietăți fizice ale PTFE sunt prezentate în *tab.1.20*.

Comportarea la ardere:

- nu se aprinde;
- ardere fără flacără;
- miros de acid fluorhidric, foarte toxic.

Proprietăți chimice:

- rezistent față de aproape toate substanțele chimice;
- instabilitate parțială la sărurile alcaline metalice și compușii fluorului la temperaturi ridicate.

Prelucrare. La injectare se folosesc presiuni cuprinse între 1300...1500 bari.

Pentru construcția matriței se alege o contracție a materialului termoplastic de aproximativ 2%.

Temperaturile recomandate ale cilindrului de injectare și matriței la injectarea PTFE sunt prezentate în *fig.1.55*.

Prelucrări ulterioare. Politetrafluoretilena se poate prelucra mecanic (strunjire, frezare, găurire, etc.) folosind sculele din prelucrarea metalelor.

Semifabricatele și produsele finite se pot lipi folosind adezivi.

1.6.2.9.2. Policlortrifluoretilenă (PCTFE)

Denumire comercială: VOLTALEF (Franța); KEL-F, PLASKON, ACLON (S.U.A.).

Obținere. Se obține prin polimerizare din trifluorcloretilenă:

$$\textit{trifluorcloretilena} \xrightarrow{\textit{polimerizare}} \textit{policlortrifluoretilenă}$$

Prezentare și însușiri generale. Granulele sunt transparente sau divers colorate. Piesele injectate pot fi folosite, în absența solicitărilor mecanice, până la 160°C.

Exemple de utilizare. Piese diverse care lucrează în mediu chimic agresiv (aparate diverse, robinete, lagăre, roți dințate, garnituri, aparate electrice, etc.).

Proprietăți fizice. Materialul prezintă înaltă rezistență termică, rezistență mecanică și duritate mare, proprietăți de alunecare foarte bune având un coeficient de frecare foarte scăzut. Are proprietăți dielectrice foarte bune. Principalele proprietăți fizice ale PCTFE sunt prezentate în *tab.1.20*.

Comportare la ardere:

- rezistent la baze și dizolvanți la temperatura mediului ambiant;
- instabil la dizolvanți la temperaturi înalte.

Prelucrare. Presiunea de injectare recomandată este 1200...1500 bari. La construcția matriței se ia în considerare o contracție a materialului termoplastic de 1...2%.

Se recomandă protecția anticorozivă a melcului, cilindrului și matriței.

Temperaturile cilindrului și matriței de injectare sunt prezentate în *fig.1.56*.

1.6.2.9.3. Polifluorură de viniliden (PVDF)

Denumire comercială: FORAFLON (Franța); SOLEF (Belgia); HYLAR (Italia); NEOFLON KF (Japonia); KYNAR (S.U.A.).

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă sub formă granulată conținând și alți aditivi. Piesele injectate se pot întrebuința, în absența sarcinilor mecanice, până la 150°C.

Exemple de utilizare. Se întrebuințează la aparate din industria chimică (roți pentru pompe, ventile, etc.), construcția de autovehicule (pompe de carburanți, bucșe, etc.), în industria electronică și electrotehnică.

Proprietăți fizice. Materialul prezintă rezistență mecanică, rigiditate și rezistență la frecare ridicată.

Tab.1.20. **Principalele proprietăți fizice ale polimerilor fluorurați.**

Proprietatea	U.M.	PTFE	PCTFE	PVDF
Densitatea	g/cm^3	2,1...2,3	2,1...2,2	1,76...1,77
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	14...32	30...40	48
Rezistența la compresie	N/mm^2	11	30...50	68
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	-	50...64	-
Duritate Rockwell (Shore)	-	50...65°Sh	75...95R	80°Sh
Alungire la rupere	%	200...400	80...250	100...300
Coeficient de dilatare termică	10^{-5}/°C	10	4,5...7	12
Căldura specifică	cal/g°C	0,25	0,22	0,33
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	10^{18}	$1,2 \cdot 10^{18}$	$2 \cdot 10^{14}$
Constanta dielectrică (50Hz)	-	2,1	2,24...2,8	8,4
Factorul de pierdere dielectrică	-	$<2 \cdot 10^{-4}$	$12 \cdot 10^{-4}$	$49 \cdot 10^{-3}$
Absorbția de apă	%	0	0	0

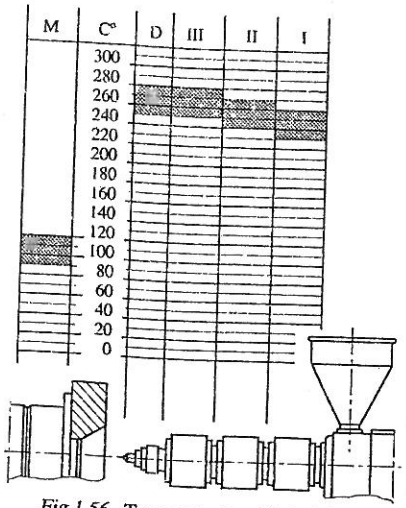


Fig.1.56. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea PCTFE.

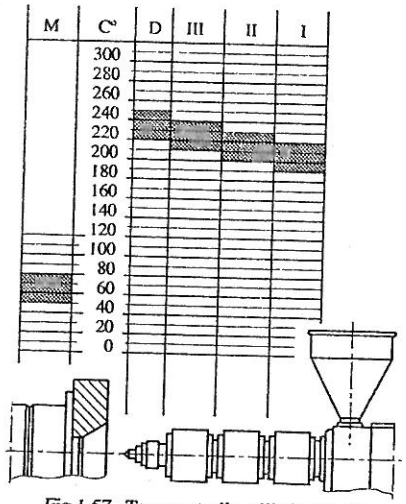


Fig.1.57. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea PVDF.

Principalele proprietăți fizice pot fi urmărite în *tab.1.20.*

Proprietăți chimice:

- rezistent la agenți de corodare și oxidare, baze și acizi organici, alcool, tetraclorură de carbon, petrol, clor-gaz, acid clorhidric, acid sulfuric;
- instabil la acetonă, ciclohexanonă, etilen, diamină (peste 50°C), acetat de etil, acetat de butil, esteri, cetone (peste 70°C), acid acetic (peste 100°C).

Prelucrare. Datorită absorbției foarte reduse de apă, în general uscarea nu este necesară. În cazul în care depozitarea nu s-a făcut corespunzător și apare apa de condens, se recomandă o uscare la 80°C timp de 3...4 ore înainte de prelucrare.

Presiunea de injectare se recomandă 600...1200 de bari.

La melc nu este necesară folosirea clapetei antiretur. Sunt recomandate duzele de injectare deschise.

La construcția matriței se ia în considerare o contracție de 2...3%.

Temperaturile cilindrului și matriței la injectarea polifluorurii de viniliden sunt prezentate în *fig.1.57.*

1.6.2.9.4. Polifluorură de vinil (PVF)

Denumire comercială: TEDLAR (S.U.A.); FORAFLON (Franța).

1.6.2.10. Poliesteri termoplastici

Poliesterii termoplastici sunt polimerii care conțin grupa esterică (-CO-O-). Cei mai folosiți pentru injectare sunt: polietilenterftalatul, polibutilentereftalatul, polimetilenterftalatul.

1.6.2.10.1. Polietilentereftalat (PET)

Denumire comercială: ARNITE A, HOSTADUR E, ULTRALEN, (Germania); RYNITE, VALOX 9530 (S.U.A.); TECHSTER E (Franța); CRASTIN (Elveția); ELECTRAFIL (Olanda).

Obținere. Rezultă din policondensarea dimetiltereftalatului cu etilen glicolul.

Prezentare și însușiri generale. Materialul poate fi amorf sau cu cristalinitate diferită. În funcție de gradul de cristalinitate, variază și anumite proprietăți mecanice.

Se prezintă sub formă de granule transparente (varianta amorfă) și natur sau colorate (varianta cristalină).

Se folosește și în varianta armată cu fibră de sticlă, cu proprietăți mecanice îmbunătățite.

Temperatura maximă de utilizare, în absența solicitărilor mecanice, este de 130°C.

Exemple de utilizare. Se folosește în: industria electrotehnică și electronică (ștechere, carcase redresor, fișe pentru conductori, miezuri pentru bobine, comutatoare, piese pentru taste de telefoane sau calculatoare, etc.), în industria de aparate electrocasnice (carcase, capace, mânere, etc.), în industria de automobile (capace de distribuție, carcase, bobine, manivele, ferestre, etc.), piese cu destinație diversă (bucșe și role de alunecare, roți dințate, piese pentru pompe de vid, etc.), ambalaje alimentare etc.

Proprietăți fizice. Materialul prezintă bune proprietăți mecanice, stabilitate dimensională foarte bună, comportare termică, coeficient de frecare redus.

Materialul armat cu fibră de sticlă câștigă în performanțe de natură mecanică, iar rezistența la căldură crește până la 200°C.

Polietilentereftalatul este un bun izolator, folosit cu succes pentru tensiuni medii și joase fiind foarte puțin afectat de condițiile de umiditate ale mediului ambiant.

Există deosebiri între tipurile de PET, deosebiri care pot fi urmărite în *tab.1.21.*

Comportarea la ardere:

- se aprinde greu și arde după îndepărtarea flăcării;
- flacără de culoare galbenă oranj;
- miros dulce aromatic (stiren).

Proprietăți chimice:

- rezistent la acizi și baze slabe, soluții de săruri, ulei, combustibili, solvenți și materiale active la suprafață, soluții fluorurate și clorurate;
- nu rezistă la soluții concentrate de acizi și baze, tetraclorură de carbon, esteri, cetone.

Prelucrare. Înaintea prelucrării se usucă granulele într-un uscător la 130...150°C timp de 3...4 ore. De obicei granulele se livrează în saci etanși cu conținut de umiditate redus (sub 0,2%), ceea ce asigură o bună prelucrare.

Se recomandă o presiune de injectare de 1200...1500 bari, presiunea ulterioară 50...70% din presiunea de injectare, iar contrapresiunea de dozare 50...80 bari.

Suprafață este mai bună pe măsură reducerii vitezei de injectare.

La oprirea mașinii se întrerupe încălzirea și se purjează până la golirea cilindrului.

La capătul șnecului se poate folosi clapeta antiretur. Duzele recomandate pentru injectarea PET sunt atât duzele deschise, cât și duzele cu închidere. La construcția matriței se ia în considerare o contracție a materialului plastic de 1,2...2% pentru PET cristalin și 0,2% pentru PET amorf.

Temperaturile de prelucrare ale cilindrului de injectare și matriței sunt prezentate în *fig.1.58.*

Prelucrări ulterioare. Piesele injectate din PET pot fi supuse prelucrărilor mecanice

fără probleme deosebite (găurire, strunjire, frezare, etc.).

Piesele din PET pot fi supuse imprimării serigrafice, marcării la cald, metalizării în vid. Metalizarea electrolitică este dificilă.

Piesele din PET se pot asambla demontabil (cu elemente elastice) sau permanent (prin lipire, sudare ultrasonică sau fricțiune). Lipirea se face cu substanțe siliconice, epoxidice sau cianoacrilice.

1.6.2.10.2. Polibutilentereftalat (PBT)

Denumire comercială: POCAN, ULTRADUR B, VESTODUR, HOSTADUR B, CELANEX (Germania); ORGATER, TECHSTER-T (Franța); RYNITE, VALOX, STRAFLAM PBT, STARGLAS PBT (S.U.A.); CRASTINE (Anglia); ARNITE T (Olanda); PIBITER ((Italia).

Obținere. Rezultă prin policondensarea dimetiltereftalatului cu butandiolul.

Prezentare și însușiri generale. Materialul se prezintă în formă de granule cilindrice cu diametrul 2...3 mm, divers colorate. Este un material termoplastic cristalin.

Piesele injectate rezistă la o temperatură de 120°C, în absența solicitărilor de natură mecanică.

Polibutilentereftalatul se folosește și în varianta armată cu fibră de sticlă, caz în care proprietățile sale mecanice și termice se îmbunătățesc substanțial.

Exemple de utilizare. Materialul se folosește în industria de automobile (piese pentru oglinzi, capace de distribuție, carcase de bobină, manivele pentru ferestre, etc.), industria articolelor electrocasnice (lămpi cu infraroșii, fiare de călcat, prăjitoare pâine, etc.), industria electrotehnică și electronică (ștechere, carcase releresoare, comutatoare, piese pentru taste telefonice, etc.), piese cu destinație largă (bucșe de alunecare, roți dințate, role de alunecare, etc.), etc.

Proprietăți fizice. Materialul prezintă bune proprietăți mecanice, stabilitate dimensională, comportare termică foarte bună, duritate a suprafeței ridicată.

PBT este un bun izolator termic și electric, fiind folosit cu succes la temperaturi înalte și tensiuni medii și joase. Prin armarea PBT cu fibră de sticlă, cresc proprietățile sale de rezistență mecanică și termică.

Polibutilentereftalatul este prezentat cu principalele sale proprietăți fizice în *tab.1.21*.

Comportarea la ardere:

- se aprinde greu și arde după îndepărtarea flăcării;

Tab.1.21. Principalele proprietăți fizice ale poliesterilor termoplastici.

Proprietatea	U.M.	PET cristalin	PET amorf	PBT	PMT
Densitatea	g/cm^3	1,37	1,33	1,34	1,31
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	74	55	58	56
Rezistența la compresie	N/mm^2	125	125	90	-
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	-	90	88	82
Duritate Rockwell	-	100	90	106	119
Alungire la rupere	%	50	150	350	250
Coeficient de dilatare termică	10^{-5}/°C	7	7	0,5	8...18
Căldura specifică	cal/g°C	0,28	0,28	-	0,36...0,55
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	$4\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{16}$	10^{16}	-
Constanta dielectrică (50Hz)	-	4	3,4	3,1...3,3	3,06
Factorul de pierdere dielectrică	-	0,002	0,003	0,001	-
Absorbția de apă	%	0,5...0,6	0,6...0,7	0,5...0,6	-

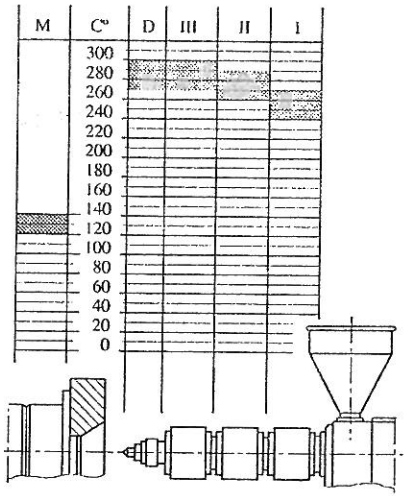


Fig.1.58. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea PET.

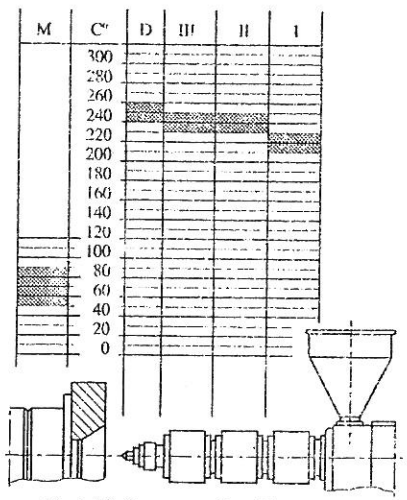


Fig.1.59. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea PBT.

- flacăra este de culoare gălbui-orange;
- miros dulce aromatic.

Proprietăți chimice:

- rezistent la acizi slabi, amoniac, acetonă, soluții de săruri, ulei, combustibil;
- nu rezistă la acizi concentrați, cloroform, clorură de metilen, baze slabe (hidroxid de potasiu 10%, hidroxid de sodiu 10%).

Prelucrare. Înainte de prelucrare materialul se usucă la 110...120°C timp de 3...4 ore într-un uscător.

Se recomandă o presiune de injectare cuprinsă între 800...1500 bari. La capul melcului se admite folosirea clapetei antiretur. Se recomandă ca rotația melcului să fie cuprinsă în domeniul 60...100 rot/min. Pentru injectare, la capătul melcului se folosesc atât duze deschise cât și duze cu închidere.

La construcția matriței se ia în considerare o contracție a materialului plastic de 0,2...1,5%. Temperaturile cilindrului și matriței de injectare la prelucrarea polibutilentereftalatului sunt prezentate în *fig.1.59*.

Prelucrări ulterioare. Polibutilentereftalatul poate fi fără probleme prelucrat mecanic prin găurire, strunjire, frezare cu scule pentru prelucrarea metalelor. Se recomandă răcire cu aer sau emulsie.

Piesele injectate din PBT pot fi ornamentate prin serigrafiere, marcare la cald, metalizare în vid. Metalizarea electrolitică este dificilă.

Cu piesele injectate se pot realiza asamblări demontabile, cu elemente elastice sau permanente, folosind sudura cu ultrasunete, sudarea prin frecare sau lipirea. Lipirea se poate realiza folosind substanțe de lipit epoxidice, cianoacrilice sau siliconice.

1.6.2.10.3. Polimetilentereftalat (PMT)

Este un material termoplastic cu cristalinitate mare, care se obține din acidul tereftalic și 1,4 butandiol. Se prezintă în formă de granule divers colorate.

Proprietățile fizice ale PMT se pot urmări în *tab.1.21.*

Prelucrarea prin injectare se realizează între 249...271°C. La construcția matriței se ia în considerare o contracție a materialului de 0,2...1,5%.

1.6.2.11. Polifenileni

Polimerii pe bază de fenilen posedă proprietăți remarcabile. Din această familie fac parte polifenilenoxidul și polifenilensulfura.

1.6.2.11.1. Polifenilenoxid (PPO)

Denumire comercială: NORYL, RODOC, RYTON, STAR-L PPO (S.U.A.); TENAX (Olanda).

Obținere. Se obține prin polimerizarea xilenolului:

$$\text{xilenol} \xrightarrow[\text{catalizare oxidativă}]{\text{polimerizare}} \text{polifenilenoxid}$$

Polimerul are masa moleculară cuprinsă între 25.000 și 30.000.

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă sub formă de granule divers colorate. Piesele injectate rezistă, în absența solicitărilor mecanice, până la 175°C.

Polifenilenoxidul se poate livra și în varianta armată cu fibră de sticlă (20...30% fibră de sticlă).

Exemple de utilizare. Polifenilenoxidul se folosește la mașini de birou (taste de presiune, carcase, etc.), în construcția aparatelor de radio și a televizoarelor (rame pentru bobine de convergență, rame de deflecție, etc.), piese pentru electromotoare, piese pentru aparate electrocasnice, aparate medicale, etc.

Proprietăți fizice. Materialul prezintă rezistență mecanică ridicată, stabilitate dimensională, modul de elasticitate ridicat, absorbție redusă a apei, proprietăți dielectrice bune, greutate specifică mică, domeniu larg de utilizare (între -170...+190°C), contracții reduse.

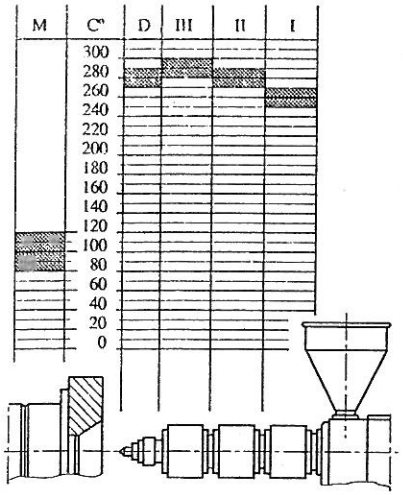


Fig.1.60. Temperaturile cilindrului de injectare și matriței la prelucrarea polifenilenoxidului.

Tab.1.22. **Principalele proprietăți fizice ale polifenilenilor.**

Proprietatea	U.M.	Polifenilenoxid	Polifenilensulfură
Densitatea	g/cm^3	1,06	1,34
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	770	75
Rezistența la compresie	N/mm^2	90	110
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	100	140
Duritate Rockwell (Shore)	-	118	124
Alungire la rupere	%	50...80	3
Coeficient de dilatare termică	10^{-5}/°C	2,7...3,1	5,4
Căldura specifică	cal/g°C	-	-
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	10^{17}	10^{16}
Constanta dielectrică	-	2,58	-
Factorul de pierdere dielectrică	-	$3,5 \cdot 10^{-4}$	-
Absorbția de apă	%	0,06	0,2

Principalele proprietăți fizice ale polifenilenoxidului sunt prezentate în *tab.1.22.*

Comportarea la ardere:

- se aprinde greu și se autostinge după îndepărtarea flăcării;
- nu picură;
- flacără de culoare verde;
- miros slab de clor.

Proprietăți chimice:

- rezistent la acizi și baze slabe, petrol și derivați, cetone, apă;
- nu rezistă la acizi și baze concentrate, oxidanți, toluen.

Prelucrare. În vederea prelucrării materialul se usucă între 2...4 ore, la 105...115°C în uscătoare cu tăvi cu grosimea stratului între 3...5 cm. Presiunea de injectare recomandată este cuprinsă între 1000...1200 bari, presiunea ulterioară 30...70% din presiunea de injectare, iar contrapresiunea de dozare 50...80 bari.

Reperele cu zone lungi de curgere cer o viteză mare de injectare. În aceste cazuri se face o aerisire corespunzătoare.

La oprirea mașinii se oprește încălzirea și se dozează repetat cu contrapresiune redusă, apoi se purjează până la golire.

Duzele recomandate pentru injectare sunt duzele deschise cu lungime mică. Duzele cu închidere în general nu sunt recomandate. La construcția matriței se ia în considerare o contracție a materialului plastic de 0,7...0,8%.

Temperaturile cilindrului și matriței la injectarea polifenilenoxidului sunt prezentate în *fig.1.60.*

Prelucrări ulterioare. Piesele injectate se pot prelucra mecanic prin frezare, găurire, strunjire folosind scule pentru prelucrarea metalelor.

În piesele injectate din polifenilenoxid se pot introduce inserții cu ajutorul ultrasunetelor. În piesa injectată se pot introduce sub presiune inserții încălzite între 260...320°C.

Piesele injectate se pot asambla nedemontabil prin ultrasunete, la cald, prin lipire folosind adezivi sau solvenți (cianoacrilați, adezivi epoxi sau adezivi siliconici).

1.6.2.11.2. Polifenilensulfură (PPS)

Denumire comercială: FORTRON, TEDUR (Germania); PRIMEF (Belgia); SUPEC, STAR-C PPS (S.U.A.); CRASTONE (Elveția); TORELINA, ASAHI PPS (Japonia); RYTON (Olanda); STAR-C PPS, VERTON OF (Anglia).

Obținere. Se obține din paradiclorbenzen prin polimerizare.

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă sub formă de granule diverș colorate. Granulele conțin diverși aditivi. Se livrează și în varianta compozită cu fibră de sticlă. Piesele injectate rezistă, în absența solicitărilor mecanice, până la 200°C.

Proprietăți fizice. Materialul rezistă la solicitări mari în condiții de temperatură ridicată (până la 200°C), prezintă bună stabilitate dimensională, nu arde. Principalele proprietăți fizice se pot urmări în *tab.1.22.*

Proprietăți chimice. Materialul prezintă rezistență chimică remarcabilă la acizi, baze, săruri, uleiuri, clorbenzen, etc.

Prelucrare. Polifenilensulfura se prelucrează prin injectare la temperaturi cuprinse în intervalul 340...400°C.

Contracția materialului care se ia în considerare la proiectarea matriței este de 1%.

Prelucrări ulterioare. Piesele injectate se pot asambla nedemontabil prin lipire cu adezivi sau compresie mecanică.

1.6.2.12. Polisulfone

Polisulfonele formează o familie de polimeri care conțin gruparea $[-C_6H_5-SO_2-]$ care se remarcă prin caracteristici mecanice și termice superioare. Principalele tipuri de polisulfone sunt: polisulfona, polietersulfona și poliacrilsulfona.

1.6.2.12.1. Polisulfonă (PSU)

Denumire comercială: POLYSULFONE R 1700, STARGLAS PSU, UDEL (S.U.A.); ULTRASON S (Germania); ELECTRAFIL J (Danemarca); LASULF (Franța).

Obținere. Se obține din condensarea bisfenolului A cu 4,4% dihidroxidifenilsulfonă:

bisfenol A + dihidroxifenilsulfonă→ polisulfonă

Proprietăți fizice și chimice principale:

- caracteristicile mecanice și electrice se mențin perioadă îndelungată între -100...+150°C;
- rezistentă bună la umiditate, acizi minerali, alcalii, detergenți, uleiuri, alcooli.

Prelucrare. Se prelucrează prin injectare la 320...400°C, iar matrița se temperează la 100...160°C.

Contractia materialului care se ia în considerare la constructia matriței este de 0,8%.

Prelucrări ulterioare. Piesele injectate se asamblează prin lipire cu adezivi, compresie mecanică și sudură cu ultrasunete.

1.6.2.12.2. Polietersulfonă (PES)

Denumire comercială: ULTRASON E (Germania); VICTREX PES (Anglia); ELECTRAFIL G (Olanda).

Proprietăți principale:

- rezistență mecanică și o mare tenacitate într-un domeniu larg de temperatură (până la 200°C);
- stabilitate bună la umiditate;
- proprietăți electrice bune, fără modificări, până la 200°C;
- rezistență bună la acizi, alcalii, uleiuri, grăsime, petrol, hidrocarburi,

Tab.1.23. **Principalele proprietăți fizice ale polisulfonelor.**

Proprietatea	U.M.	Polisulfona	Polietersulfona	Poliacrilsulfona
Densitatea	g/cm^3	1,24	1,37	1,36
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	71	90	83
Rezistența la compresie	N/mm^2	96	-	135
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	105	120	115
Duritate Rockwell	-	120	-	-
Alungire la rupere	%	50...100	-	15...20
Coeficient de dilatare termică	$10^{-5}/°C$	5,2...5,6	-	4,5
Căldura specifică	cal/g°C	-	-	-
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	$5 \cdot 10^{16}$	10^{17}	$3,2 \cdot 10^{16}$
Constanta dielectrică (50Hz)	-	3,1	3,5	3,94
Factorul de pierdere dielectrică	-	$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
Absorbția de apă	%	0,2	0,4	1,8

alcooli, aburi; nu rezistă la cetone, esteri.

Prelucrare. Se prelucrează prin injectare la temperaturi cuprinse în intervalul 320...390°C.

Contracția materialului care se ia în considerare la proiectarea matriței este 0,7%.

Prelucrări ulterioare. Piesele injectate se asamblează prin lipire cu adezivi, compresie mecanică sau sudură prin ultrasunete.

1.6.2.12.3. Poliarilsulfonă (PALS)

Denumire comercială: ASTREL 360 (S.U.A.).

Proprietăți principale:

- rezistență îndelungată la degradarea termoxidativă până la 300°C;
- rezistență la acizi, carburanți, lubrifianți, alcooli slabi; solubilitate în anumiți solvenți.

Prelucrare. Se prelucrează prin injectare la temperaturi cuprinse în intervalul 370...425°C.

Contracția materialului care se ia în considerare la proiectarea matriței este 0,8%.

Principalele proprietăți fizice ale polisulfonelor sunt prezentate în *tab.1.23.*

1.6.2.13. Polieter clorurat (PEC)

Denumire comercială: PENTON (S.U.A.)

Obținere. Polieterul clorurat rezultă din polimerizarea monomerului oxietanclorurat și are masa moleculară 250.000...350.000 și un conținut 46% clor.

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă sub formă de granule divers colorate. Este un termoplastic cristalin.

Exemple de utilizare. Se folosește la injectarea pieselor pentru aparate din industria chimică (ventile, fitinguri, etc.), piese tehnice ce lucrează în medii chimice agresive.

Proprietăți principale:

- proprietăți mecanice și electrice bune;
- absorbție de apă aproape nulă;
- conductibilitate termică mai mică decât a altor polimeri termoplastici;
- stabilitate dimensională bună;

- rezistență la majoritatea agenților chimici organici și anorganici, chiar la temperaturi de 120°C.

Principalele proprietăți fizice ale polieterului clorurat pot fi urmărite în *tab.1.24.*

Prelucrare. Se prelucrează prin injectare la 185...240°C, iar matrița se temperează la 90...95°C. Contracția materialului plastic, ce se ia în considerare la construcția matriței, este de 0,4...0,6%.

Prelucrări ulterioare. Piesele injectate se pot asambla nedemontabil prin lipire cu adezivi sau prin compresie mecanică.

1.6.2.14. Poliuretan termoplastic (PUR)

Denumire comercială: CAPROLAN, ELASTOLLAN, CELSTRAN PUG (Germania); ESTANE, PELLETHANE, ROYLAR, RUCOTHANE (S.U.A.); LASTANE (Franța).

Obținere. Poliuretanii sunt polimeri obținuți prin copoliadiția dintre un poliizocianat și un polialcool.

Prezentare și însușiri generale. Se prezintă în formă granulată natur. Sunt polimeri cu structură liniară, cu masa moleculară mare, cu proprietăți apropiate poliamidelor.

Proprietăți principale:

- prezintă bune proprietăți mecanice;

Tab.1.24. **Principalele proprietăți fizice ale polieterului clorurat.**

Proprietatea	U.M.	Polieter clorurat
Densitatea	g/cm^3	1,4
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	42
Rezistența la compresie	N/mm^2	-
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	35
Duritate Rockwell (Shore)	-	100
Alungire la rupere	%	60...160
Coeficient de dilatare termică	$10^{-5}/°C$	8
Căldura specifică	cal/g°C	-
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	10^{15}
Constanta dielectrică	-	3,1
Factorul de pierdere dielectrică	-	10^{-2}
Absorbția de apă	%	0,01

Tab.1.25. **Principalele proprietăți fizice ale poliuretanilor termoplastici.**

Proprietatea	U.M.	Poliuretani termoplastici	
		I	II
Densitatea	g/cm^3	1,20	1,24...1,26
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	40	28...55
Rezistența la compresie	N/mm^2	-	140
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	-	83...94
Duritate Rockwell (Shore)	-	70...96	60
Alungire la rupere	%	580	100...600
Coeficient de dilatare termică	$10^{-5}/°C$	-	10...20
Căldura specifică	cal/g°C	-	0,42...0,44
Rezistivitatea electrică de volum	Ωcm	-	$2 \cdot 10^{11}$
Constanta dielectrică	-	-	6,7...7,5
Factorul de pierdere dielectrică	-	-	0,05...0,06
Absorbția de apă	%	-	-

- stabilitate dimensională bună;
- rezistă la acțiunea bazelor slabe, alcoolilor, eterilor, hidrocarburilor clorurate, uleiurilor;
- nu rezistă la acțiunea acizilor slabi și concentrați, bazelor tari, cetonelor.

Principalele proprietăți fizice ale poliuretanilor termoplastici se pot urmări în *tab.1.25.*

Prelucrare. În vederea injectării materialul se usucă 1...2 ore la 100...110°C în dulapuri uscătoare cu aer. Injectarea materialului se face la 170...210°C, iar matrița se temperează la 40...50°C.

Prelucrări ulterioare. Piesele injectate se pot asambla nedemontabil prin lipire cu adezivi, compresie mecanică sau sudură cu ultrasunete.

1.7. Amestecuri de polimeri și materiale termoplastice armate

1.7.1. Amestecuri de polimeri

Amestecurile de polimeri contribuie într-o măsură substanțială la creșterea și extinderea așa numitelor termoplaste tehnice (engineering plastics).

Noțiunea de amestec de polimeri sau aliaje de polimeri se folosește pentru masele polimerilor termoplastici care constau din doi sau mai mulți polimeri în raporturi procentuale mai mari (cel puțin 10%) care se compoundează în condiții bine definite și care se folosesc sub formă de granule pentru prelucrare [62].

În aceste cazuri nu are importanță dacă amestecul este monofazic sau polifazic. Se obține monofazicitate când componentele amestecului sunt complet miscibile, adică se spune că se solubilizează complet una în cealaltă, independent de proporția amestecării, de temperatură și de condițiile de forfecare.

În amestecurile polifazice, problemele de morfologie a diferitelor faze și cuplarea fazelor au o importanță hotărâtoare. Trecerile între cuplarea chimică și fizică și între miscibilitatea parțială până la totala nemiscibilitate, sunt specifice fiecărui produs.

Componentele total nemiscibile pot fi cuplate forțat printr-o rețea interpătrunzătoare cu așa numitul „interpenetrating polymer network" (IPN), acest principiu de construcție fiind utilizabil pentru toate combinațiile ce se pot închipui [62]. Oricât de diferite ar fi amestecurile individuale de polimeri privind structura, proprietățile și prețul lor, ele prezintă o calitate comună și anume creșterea ponderii lor pe piața materialelor termoplastice.

Amestecurile de polimeri prezintă mai multe avantaje:

- umplu golurile tehnologice lăsate de familia materialelor termoplastice;
- obținerea unor materiale cu caracteristici termice și mecanice superioare, precum și a altor proprietăți aplicative deosebite: rezistența la intemperii, rezistență chimică, luciul suprafeței, rezistență la ardere;
- optimizarea prelucrabilității materialelor termoplastice;
- obținerea unui amestec de polimeri se realizează în timp mai scurt decât în cazul unui polimer;
- competitivitatea lor față de metale cât și față de unele materiale plastice.

În cele ce urmează se vor prezenta principalele tipuri de amestecuri de polimeri.

1.7.1.1. Amestecuri pe bază de polipropilenă

În ultimii 10 ani sunt folosite tot mai mult amestecurile de polipropilenă și elastomeri termoplastici, urmărindu-se îmbunătățirea unor proprietăți ca: rezistența la șoc și stabilitatea dimensională a piesei injectate, proprietatea de umplere a cuibului, îmbunătățirea preciziei de reproducere a gravărilor din matriță, obținerea unor piese injectate cu pereți subțiri.

1.7.1.2. Amestecuri pe bază de poliamidă

Se folosesc cu mare succes în tehnică amestecuri de PA 6 sau PA 6.6 cu elastomeri termoplastici, îmbunătățindu-se substanțial rezistența (de aproximativ două ori) atât la temperatura camerei cât și la temperaturi joase (-40°C), caracteristicile de rezistență și rigiditate fiind micșorate neglijabil, iar cele de stabilitate chimică și termică fiind menținute neschimbate.

Prin amestecurile de PA 6 și PA 6.6 se urmărește realizarea unui material care să reducă efectele nedorite ale umidității asupra rigidității, precum și reducerea deformărilor.

Amestecurile de poliamidă și polifenilenoxid se caracterizează prin rezistență sporită la agenți chimici, precum și printr-o creștere a stabilității termice a piesei injectate până la 190°C.

1.7.1.3. Amestecuri pe bază de policarbonat

Amestecurile dintre policarbonat și ABS duc la obținerea unor materiale cu prelucrabilitate sporită (creșterea capacității de curgere) astfel că din aceste amestecuri se pot realiza piese injectate cu suprafețe mari și forme complicate. De asemenea se îmbunătățesc și alte proprietăți: rezistența la frig, stabilitatea formei piesei injectate până la 130°C, o bună rezistență la razele ultraviolete.

Proprietăți deosebite ale acestor amestecuri fac ca acestea să fie folosite în construcția automobilelor (piese de interior, piese de exterior supuse la șocuri, etc.). Policarbonatul se combină în amestecuri și cu poliesterii termoplastici (PET și PBT).

La un amestec binar tenacitatea deosebită a policarbonatului se pierde aproape total, astfel încât se alege și o a treia componentă de tip elastomer. Se ajunge astfel la amestecuri PC/PET și PC/PBT cu rezistență modificată. Aceste aliaje se folosesc în industria automobilelor (la amortizoarele de șoc pot fi folosite atât nelăcuit cât și lăcuit), căști de protecție (motociclism, automobilism, construcții).

1.7.1.4. Amestecuri pe bază de polietilentereftalat și polibutirentereftalat

Amestecurile pe bază de PET și PBT modificate cu elastomeri și-au dovedit calitățile în domeniul construcțiilor de mașini și de automobile, a aparatajului sportiv, la piese injectate supuse la mari eforturi. Caracteristicile cele mai importante sunt rezistența la tracțiune și rezistența la șoc chiar la temperaturi joase, rezistență bună la agenți chimici.

Există și alte tipuri de amestecuri de polimeri prezentate în lucrările de specialitate [62, 67, 69, 70].

1.7.2. Materiale termoplastice armate

Materialele termoplastice pot fi ranforsate cu fibre, microsfere, fulgi în vederea îmbunătățirii proprietăților mecanice (cap.1.5.4.).

Materialele ca se pot arma sunt: poliamidele, policarbonatul, polibutirentereftalatul, polistirenul, polipropilena.

Materialul de armare cel mai folosit pentru armarea materialelor termoplastice este fibra de sticlă.

1.7.2.1. Poliamide armate

Poliamidele se pot arma cu fibre și microsfere de sticlă, fibre de carbon și fire aramidice.

Poliamidă armată cu fibră de sticlă. Poliamidele 6 și 6.6 armate cu fibră de sticlă în proporție până la 50% greutate, respectiv poliamidele 6.10, 6.11 și 6.12 până la 30% greutate fibră de sticlă, reprezintă cele mai importante tipuri armate cu fibră de sticlă.

Prin armare cu fibră de sticlă se modifică următoarele proprietăți ale poliamidelor:

- creșterea modulului de elasticitate;
- creșterea rezistenței la tracțiune;
- creșterea rigidității la încovoiere;
- creșterea rezistenței la torsiune;
- creșterea durității;
- rigidizarea crește odată cu lungimea fibrelor;
- rezistența la fluaj se diminuează;
- coeficientul de dilatare termică liniară se reduce, depinzând în mare măsură de proporția materialului de armare;
- căldura specifică se reduce;
- absorbție redusă de apă;
- modulul de elasticitate mai puțin dependent de conținutul de apă;
- rezistență bună la agenți chimici.

Variatia modulului de elasticitate pentru diferite tipuri de poliamide este prezentată în *fig.1.61.* Armarea cu fibră de sticlă are și dezavantaje care constau dintr-o anumită anizotropie a proprietăților și în probleme de deformare care se manifestă prin diferențe de contracție cauzate de orientarea fibrelor (cap.5). Alt dezavantaj al poliamidelor armate cu fibră de sticlă este uzura provocată melcului și cilindrului mașinii de injectat.

Poliamide armate cu microsfere de sticlă. Microsferele de sticlă folosite pentru armarea polimidelor 6.6 și 6.12 se utilizează în proporție de până la 50% greutate.

Poliamidele armate cu microsfere de sticlă prezintă următoarele caracteristici:

- îmbunătățirea rezistenței la încovoiere și tracțiune;
- creșterea rezistenței la șoc;
- îmbunătățește alungirea la rupere;
- contracția tridimensională uniformă a piesei injectate;
- asigurarea unor toleranțe strânse la piesa injectată;

- distribuție bună a tensiunilor interne a sistemului poliamidă/microsfere de sticlă;

- îmbunătățesc proprietățile de curgere.

Poliamidă armată cu fibre de carbon. Fibrele de carbon se utilizează în proporție de până la 20% greutate la armarea poliamidei 6, până la 40% greutate în cazul poliamidei 6.6 și în diferite proporții la armarea poliamidei 11 și 12 [62].

Poliamidele armate cu fibre de carbon prezintă următoarele avantaje:

- creșterea densității într-o măsură mai mică dacât la poliamida armată cu fibră de sticlă;

- creșterea modulului de elasticitate de două ori mai mult decât în cazul poliamidei armate cu fibră de sticlă;

- creșterea rezistenței la tracțiune, a rigidității, rezistenței în timp la temperatura mediului ambiant comparabilă cu cele ale staniului și manganului;

- caracteristici de alunecare mai bune decât ale poliamidei armate cu fibră de sticlă;

- îmbunătățirea conductibilității termice și electrice;

- uzură mai redusă a mașinii de injectat decât la poliamida armată cu fibră de sticlă.

Dezavantajul armării cu fibră de sticlă este înrăutățirea rezistenței la șoc.

Poliamide armate cu fibre aramidice. Fibrele aramidice de înaltă performanță mecanică sunt cunoscute în general sub denumirea de Kevlar (Dupont de Nemours). Aceste fibre sunt caracterizate prin rezistența lor specifică la rupere la tracțiune foarte mare.

Poliamida armată cu fibre aramidice prezintă o foarte bună rezistență la șoc și rezistență mare la oboseală.

Proprietățile fizice ale polimidelor armate cu fibre aramidice prezintă anizotropii în piesa injectată (*tab.1.26*).

Tab.1.26. **Anizotropia proprietăților materialelor termoplastice armate.**

Proprietatea	U.M.	Fibre aramidice			Fibre de sticlă		
		long.	trans.	diferențiat	long.	trans.	diferențiat
Rezistența la încovoiere	N/mm²	133	127	5	203	175	16
Modul de elasticitate	-	4900	4540	8	5950	4570	30
Rezistența la încovoiere crestat	J/m	55	55	0	65	50	30
necrestat	J/m	455	409	11	455	294	55
Coeficient de dilatare termică	10⁶K	43	46,5	8	41	55	35

1.7.2.2. Alte materiale armate

Se supun operației de armare și alte materiale termoplastice: poliolefinele (polietilena și polipropilena), policarbonatul, polibutilentereftalatul, acrilonitrilstirenul.

Ca materiale de armare se folosesc fibrele de sticlă, fibrele aramidice, etc.

Prin armare se îmbunătățesc o serie de proprietăți ale materialelor de bază. În *tab.1.27* sunt prezentate proprietățile fizice pentru diferite materiale termoplastice armate [63].

O comparație asupra rezistenței la încovoiere a unei piese injectate pentru diferite materiale termoplastice armate cu fibră de sticlă, este prezentată în *fig.1.62.* [64].

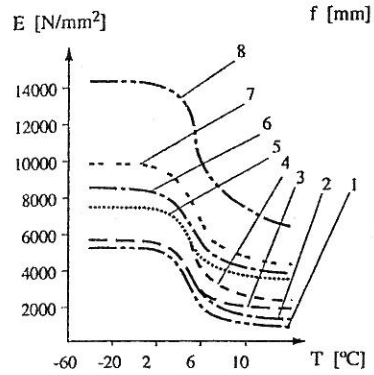


Fig.1.61. Modulul de elasticitate pentru diferite poliamide (uscate): 1 - Ultramid B3M6; 2 - Ultramid B32GM24; 3 - Ultramid B3EG3; 4 - Ultramid B36M35; 5 - Ultramid B3W65; 6 - Ultramid B3E66; 7 - Ultramid B3W67; 8 - Ultramid B3W68.

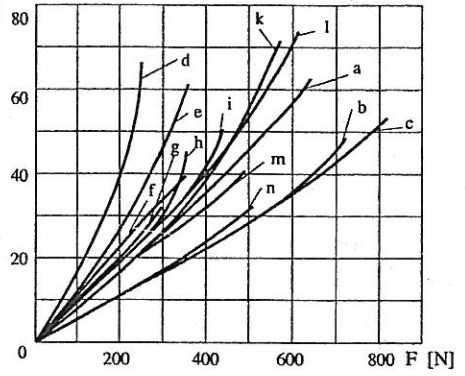


Fig.1.62. Dependența dintre săgeată și sarcină pentru o piesă injectată din diferite materiale termoplastice: *a...c* - PA armată cu fibră de sticlă (*a* - Verton RF 700/G, *b* - Verton RF 700/10, *c* - Verton RF 700/10EM.); *d* - poliacetal; *e* - PP armată cu fibră de sticlă; *f* - PET armat cu fibră de sticlă; *g* - POM armat cu fibră de sticlă; *h* - POM armat cu fibră de sticlă; *i* - PBT armat cu fibră de sticlă; *k* - PA 6.6 armat cu fibră de sticlă; *l* - PBT armat cu fibră de sticlă; *n* - PET armat cu fibră de sticlă. Curbele *g*, *h* (POM) și *i*, *l* (PBT) au procente diferite de fibră de sticlă.

1.8. Materiale termoplastice noi cu proprietăți speciale

În industria materialelor termoplastice ritmul de apariție a unor materiale termoplastice noi, cu diferite destinații funcționale, este foarte ridicat.

Acești polimeri din a treia generație (prima generație pentru ambalaje, articole de consum; a doua generație pentru materiale de construcții ca înlocuitori ai metalelor) sunt folosiți în domenii inaccesibile înainte pentru materiale de această natură. În cele ce urmează se vor aminti câteva dintre aceste materiale noi.

1.8.1. Polimeri pe bază de cristale lichide

Polimerii pe bază de cristale lichide (Liquid Crystalline Polymers-LCD) care se produc astăzi în cadrul a 25 de firme constituie o realizare deosebită (*tab.1.28*).

Acești polimeri prezintă o macromoleculă specială care se comportă diferit de

Tab.1.27. **Principalele proprietăți fizice ale materialelor termoplastice armate.**

Materiale de armare/ Proprietăți	U.M.	PA 6.6						PA 6					PBT		
		R 1000[x]	RA 1002	RA 1004	RF 1004	RC 1004	RAL 4023	P 1000	PA 1002	PA 1004	PF 1004	W 1000	WA 1004	WF 1004
Fibre aramidice	%	-	10	20	-	-	15[xx]	-	10	20	-	-	20	-
Fibre de sticlă	%	-	-	-	20	-	-	-	-	-	20	-	-	20
Fibre de carbon	%	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-
Densitate	g/cm^2	1,14	1,17	1,20	1,28	1,23	1,29	1,14	1,17	1,20	1,28	1,31	1,34	1,43
Contracție la prelucrare (3 mm) lungime/lățime	%	1,9/1,7	0,8/0,8	0,7/0,7	0,5/0,8	0,2/0,4	0,8/0,8	1,7/1,4	0,7/0,7	0,6/0,6	0,4/0,6	2,0/1,6	1,1/1,3	0,4/0,6
Absorbția de apă	%	1,5	0,9	0,65	0,9	0,6	0,6	1,8	1,2	0,9	1,3	0,07	0,08	0,08
Rezistența la tracțiune	N/mm^2	82	102	105	133	196	95	75	79	105	130	56	75	123
Rezistența la rupere	%	60	4,0	4,9	3,5	3,0	5,0	40	4,6	5,0	3,5	200	4,4	4,5
Rezistența la încovoiere	N/mm^2	105	133	133	203	294	121	98	87	136	200	91	107	168
Modulul de elasticitate	N/mm^2	2870	3710	4900	5950	16800	3850	2800	3570	4550	5950	2380	4480	7000
Rezistența la încovoiere														
- crestat	J/m	50	55	55	65	60	55	30	60	60	75	50	40	95
- necrestat	J/m	>2000	240	455	455	430	455	>2000	285	670	628	1340	410	700
Rezistența piesei la temperatură	°C	66	210	249	253	257	240	73	195	210	210	85	204	210
Coeficient de dilatare termică	10^6K^{-1}	81	63	43	41	25	56	83	63	41	40	95	50	25
Conductibilitate termică	W/(mK)	0,23	0,28	0,32	0,39	0,24	0,26	0,29	0,26	0,30	0,36	0,23	0,36	0,39

LEGENDĂ [x] - *aceste materiale aparțin firmei LNP;*
[xx] - *acest material conține PTFE.*

macromolecula materialelor termoplastice clasice, atât în stare solidă, cât și în fază de topitură. Macromoleculele sunt formate din elemente liniare, rigide și elemente flexibile (*fig.1.63*) [66].

Polimerii pe bază de cristale lichide prezintă următoarele caracteristici [65]:

- foarte bune proprietăți mecanice pe direcția de curgere;
- coeficient de dilatare termică liniară foarte scăzut pe direcția de curgere;
- entalpie foarte scăzută, ceea ce duce la o întărire foarte rapidă a topiturii;
- foarte bun coeficient de curgere;
- lipsa bavurii la piesa injectată;
- obținerea de piese injectate cu pereți subțiri;
- stabilitatea dimensională a piesei injectate;
- rezistență la flacără;
- rezistență la agenți chimici;
- rezistență foarte bună la temperaturi înalte.

Proprietățile mecanice și termice ale unor materiale cu cristale lichide pot fi urmărite în *tab.1.29.* [65].

Coeficientul de dilatare termică a acestor polimeri este foarte redus. În funcție de direcția de curgere și parametrii prelucrării, coeficientul de dilatare termică poate fi reglat între 0 și $60 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}.

Pe direcția transversală curgerii coeficientul de dilatare termică este mai ridicat.

Tab.1.28. **Polimeri pe bază de cristale lichide (producători și denumiri comerciale).**

Regiunea	Firma	Denumirea
Europa	Hoechst	Vectra
	Amoco	Xydar
	BASF	Ultrax, Kr.
	Du Pont	Hx
	Bayer	-
	ICI	Victrex SRP
	Rhône Poulenc	Rhodester CL
S.U.A.	Hoechst Celanse	Vectra
	Darteo Amoco	Xydar
	Granmont	Granlar
	Eastman Kodak	LCC
	Du Pont	Hx
	Philips	HTR
Japonia	Polyplastics	Vectra
	Sumitoma	Ekanol
	Unitika	Rodrun
	Mitsubushi Chem	Novaccurate
	Nippon Petrochem	Xydar
	Toso	HA 6, HB 6
	ICI Japan	Victrex
	Ueno	Ueno LGP
	Toyobo	-
	Mitsui Petrochem	-
	Idemitsu	-
	Toray	-
	Teijin	-
	Asahi Chem	-
	Kawasaki Steel	K-LCP

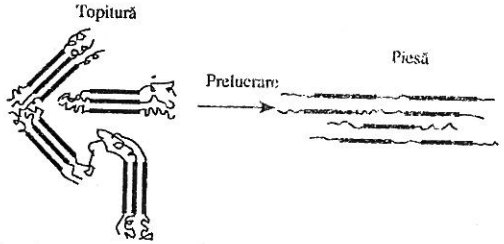


Fig.1.63. Macromolecula unui polimer pe bază de cristale lichide.

Tab.1.29. **Proprietăţile mecanice şi termice ale unor materiale polimerice cu cristale lichide.**

Proprietatea	U.M.	KU 1-9221	KU 1-9231	KU 1-9234	KU 1-9236
Rezistenţa la rupere	N/mm^2	200	160	130	120
Alungire la rupere	%	1,2	1,1	1,0	1,4
Modul de elasticitate la întindere	N/mm^2	20.000	17.000	18.500	12.000
Rezistenţa la încovoiere	N/mm^2	180	150	180	145
Modul de elasticitate la încovoiere	N/mm^2	10.000	12.000	17.000	12.000
Rezistenţa	KJ/m^2	38	70	30	27
Rezistenţa piesei la temperatură	°C	140	250	250	240

La armarea cu fibră de sticlă (până la 30...50%) valorile coeficientului termic de dilatare liniară şi a rezistenţei la încovoiere în ambele direcţii se apropie una de alta.

Principalele domenii de utilizare a polimerilor pe bază de cristale lichide sunt: aparate pentru procese chimice, elemente de rezistenţă pentru faruri din materiale armate cu fibre, piese electrotehnice, etc.

1.8.2. Polimeri cu memoria formei

Polimerii cu memoria formei sunt materiale termoplastice reticulate capabile de topire - cristalizare reversibilă care conţin în structură polimerul de bază şi ingredientul de întărire (poliuretan şi poliuretan cristalizat, copolimer liniar de stiren şi transpolibutadienă cristalină, transpoliizopren cristalizat şi polidienă).

Un material polimeric termoplastic cu memoria formei este cel realizat prin copolimerizarea în bloc a polibutadienei (temperatura de topire 60°C) şi grefată cu polistirenul (temperatura de topire 100°C). În aceşti polimeri, la temperaturi peste 120°C, proprietatea fluidităţii se manifestă atât în nucleele stirenice cât şi în nucleele butadienice. Aceşti polimeri se pot prelucra prin injectare.

Nucleele butadienice se întăresc la răcire până la 40°C, iar la temperatura 60... 90°C se topesc şi formează o fază elastomeră. Polimerul devine asemănător cu cauciucul reticulat. Dacă se măreşte efortul de deformare şi polimerul se expune la răcire, componenta butadienică se cristalizează, deformarea se fixează şi se menţine, dar la încălzire revine la forma iniţială.

Rezultate remarcabile la realizarea unor polimeri cu memoria formei s-au obţinut în Japonia (firma Asuna).

Experimental s-a repetat de 200 de ori efectul de menţinere a formei prin încălzirea unei epruvete un timp de 90 secunde la 80°C. Acelaşi fenomen are loc la alungirea cu 100...400% a unui alt tip de epruvetă.

1.8.3. Alte tipuri de polimeri

Există nenumărate preocupări ale diverselor firme pentru obţinerea unor materiale noi, atât prin sinteză chimică, cât şi prin compoundare, aliere sau armare [67, 68, 69, 70].

În domeniul poliesterilor termoplastici s-a realizat un salt prin lansarea de către firma ICI a „superengineering polymers", care sunt poliesteri aromatici destinaţi pieselor exploatate în condiţii extreme, unde nu se pot folosi polimerii de construcţii uzuali (exemplu: polieterestercetona care poate fi folosită timp îndelungat la 250°C şi pe intervale mici de timp până la 300°C).

Polimerii cu structură întrepătrunsă s-au realizat prin formarea unor legături fizice transversale în locul legăturilor chimice. Polimerii se folosesc atât independent, cât şi sub formă compozită cu armare cu fibră de sticlă sau fibre de carbon.

Firma BASF a realizat polimeri buni conducători de electricitate, care sunt materiale compozite care au la bază doi polimeri: poliacetilena şi polipirolul. Conductibilitatea acestor materiale a fost mărită de la 200 până la 900.000/V·cm. [69].

Poliamida transparentă a fost elaborată de firma Emser. Ea se caracterizează prin absorbţie redusă de apă, rezistenţă la apariţia fisurilor, stabilitate termică ridicată, rezistenţă la agenţi chimici [70].

BIBLIOGRAFIE

1. *Jinescu, V., Valeriu.* Proprietăţi fizice şi termodinamice a materialelor plastice. Bucureşti, Editura Tehnică, 1979.

2. *Oprea, Vasiliu, C., Bulacovschi, V., Constantinescu, A.* Polimeri. Bucureşti, Editura Tehnică, 1986.

3. *Buzdugan, Gh.* Rezistenţa materialelor. Bucureşti, Editura Tehnică, 1970.

4. *** Moulage par injection des polyamidis Technyl. Prospectul firmei Rhône-Poulenc Specialites Chimiques, juin, 1983.

5. *** Matieres plastiques Hoechst. Hostyren N et S. Prospectul firmei Hoechst, septembrie, 1977.

6. *** Durethan. Polyamide 6 et polyamide 6.6. Materiau chimique Bayer. Prospectul firmei Bayer, aprilie 1978.

7. *** Hoechst, Matieres Plastique, Hostaform. Prospectul firmei Hoechst, mai, 1981.

8. *** *Manea, Gh.* Organe de maşini, vol. 1. Bucureşti, Editura Tehnică, 1970.

9. *Pavelescu, D., Muşat, M., Tudor, A.* Tribologie. Bucureşti, Editura Tehnică, 1977.

10. *Tudose, R. Z., Volintiru, T., Asandei, N., Lungu, M., Merică, E., Ivan, Gh.* Reologia compuşilor macromoleculari. Bucureşti, Editura Tehnică, 1983.

11. *Laes, W.* Einführung in die Werkstoffkunde der Kunststoffen. Carl Hanser Verlag, München, 1972.

12. *Kinney, G. F.* Eigenschaften und Anvendung von Kunststoffe. Berliner Union, Stuttgart, 1961.
13. *** Kunstoffe Hoechst Spritzgiessen von Thermoplasten. Prospectul firmei Hoechst, august, 1971.
14. *** Matieres plastiques Hoechst. Polyolefines renforcées: Hostalen, Hostalen PP. Prospectul firmei Hoechst, iunie, 1978.
15. *** Kunstoffe Hoechst, Hostalen. Prospectul firmei Hoechst, iunie, 1978.
16. *Mihail, R., Goldenberg, H.* Prelucrarea materialelor plastice. București, Editura tehnică, 1963.
17. *Tudose, Z. R.* Procese și utilaje în industria de prelucrare a compușilor macromoleculari. București, Editura tehnică, 1976.
18. *Hodoș, N.* Polistirenul. București, Editura tehnică, 1970.
19. *** Kunstoffe Hoechst. Hostaform C. Prospectul firmei Hoechst., 1970
20. *Mink, W.* Grundzüde der Spritzgiesstechnic Zechner und Hüthig Verlag GmH, Speier am Rhein, 1979.
21. *Jaksch, E., Chetaru, D., Manea, Gh.* Materiale plastice poliamidice. București, Editura tehnică, 1988.
22. *Horun, S., Păunică, T., Sebe, O. M., Șerban, S.* Memorator de materiale plastice. București, Editura tehnică, 1988.
23. *Beck, H.* Spritzgiessen. Carl Hansen verlag, München, 1963
24. *Volintiru, T., Ivan, G.* Introducere în fizico-chimia polimerilor. București, Editura tehnică, 1970.
25. *Goldenberg, H., Haș, T.* Policlorura de vinil. București, Editura tehnică, 1972.
26. *Horun, S., Sebe, O.* Degradarea și stabilizarea polimerilor. București, Editura tehnică, 1986.
27. *** Bayer Kunstoffe. 3 Ausgabe. Prospectul firmei Bayer, Leverkusen, 1963.
28. *Schaof, W., Hahnemann, A.* Verarbeitung von Plasten. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1970.
29. *Vieweg, R., Braun, D.* Kunstoffe Handbuch, Band I. Grundlagen. Carl Hansen Verlag, München Wien, 1975.
30. *Vieweg, R., Müller, A.* Kunstoffe Handbuch, Band VI. Polyamide. Carl Hansen Verlag, München 1966.
31. *Vieweg, R., Schley, A., Schwarz A.* Kunstoffe Handbuch, Band IV. Polyolefine. Carl Hansen Verlag, München 1968.
32. *Vieweg, R., Daumiller, G.* Kunstoffe Handbuch, Band V. Polystyrol. Carl Hansen Verlag, München 1969.
33. *Feldman, D.* Tehnologia compușilor macromoleculari. București, Editura tehnică, 1974.
34. *** Macrolon. Policarbonat. Prospectul firmei Bayer, 1979.
35. *** Moulage par injection du Lacqtene P. Homopolymeres et copolymeres. Prospectul firmei ATO CHIMIE.
36. *** Kunstoffe Hoechst. Hostalen. Prospectul firmei Hoechst, 1983.
37. *** Hoechst Plastics. Hostalen LD. Prospectul firmei Hoechst, 1980.
38. *** Moplen-Ro, Polietilene alta densita. Prospectul firmei Montedison, 1976.
39. *** Lexan, Noryl, Valox. For functional and economical design. Prospectul firmei General Electric Plastics BV, 1979.
40. *** Noryl, Lexan. Für functionelles Konstruieren. Prospectul firmei General Electric Plastics BV, 1978.

41. *** Konstruction und Fertigung electrischer Haushaltsgeräte. Prospectul firmei Bayer.
42. *** Novodur ABS-Polymerisat. Prospectul firmei Bayer., 1983.
43. *** Hoechst Plastics. Hostaflon. Prospectul firmei Hoechst, 1977.
44. *** Noryl, Termoplastic resin. Spritzgussverarbeitung. Prospectul firmei General Electric, 1968.
45. *** PPO. Instructions pour le moulage par injection du PPO. Prospectul firmei AKU, 1966.
46. *** Technyl. Techster. Moulage par injection. Prospectul firmei Rhône-Poulenc.
47. *** Teehster, polyester, thermoplastique pour composants electroniques. Prospectul firmei Rhône-Poulenc.
48. *** Pibiter. Polybutylenterephtalate. Prospectul firmei Montedison, 1984.
49. *** An introduction to Diakon, acrylic materials. Prospectul firmei ICI.
50. *** Vestyron, Vestoran. Prospectul firmei Hüls, 1968.
51. *** Kostil. Copolymere styrene-acrylonitrile. Prospectul firmei Montedison, 1975.
52. *** Vestamid. Prospectul firmei Hüls, 1969.
53. *** Maranyl. Nylons Maranyl charges a la fibre de verre. Prospectul firmei ICI.
54. *** Akulon S 223-E, polyamide 6.6. Prospectul firmei AKZO plastics BV, 1973.
55. *** Urtal. ABS resin. Prospectul firmei Montedison, 1978.
56. *** Edistir. Polystyrene. Prospectul firmei Montedison, 1976.
57. *** Vestyron. Prospectul firmei Hüls, 1970.
58. *** Cellidor. Esterorganiques de cellulose thermoplastiques. Prospectul firmei Bayer, 1974.
59. *Goldenberg, N., Diaconescu, I., Butucea, V., Dobrescu, V.* Poliolefine. Editura Tehnică, București, 1976.
60. *Clesiu, R. S.* Sudarea materialelor plastice. Institutul de sudură și încercări de materiale Timișoara. Oficiul de informare documentară pentru industria construcțiilor de mașini, București, 1987.
61. *Mihalcu, M.* Materiale plastice armate. Editura Tehnică, București, 1973.
62. *Witt, W.* Polymer-Blends. Kunstoffe nr. 10, 1984.
63. *Keulerben, R. H., Schütt, K. P.* Aramidfaserverstärkte Thermoplaste. Kunstoffe nr. 10, 1986.
64. *Zettler, M., Döring, E.* Stand der Verarbeitungs und Anvendungstechnikbei langfaserverstärkten Thermoplasten. Kunstoffe nr. 9, 1989.
65. *Kirsch, G., Terwyen, H.* Thermotrope flüssingkristalline Polymere (LCP). Kunstoffe nr. 10, 1990.
66. *Bangert, H.* Formteile aus flüssingkristallinen Kunstoffen. Kunstoffe nr. 12, 1989.
67. *** Materii prime și materiale noi. Economia și valorificarea superioară a materialelor. Buletin de nformare și documentare științifică. INID nr. 5. București, 1990.
68. *** Materii prime și materiale noi. Economia și valorificarea superioară a materialelor. Buletin de nformare și documentare științifică. INID nr. 3. București, 1986.
69. *** Informații tehnico-științifice și economice. INID nr. 8, București, 1986
70. *** Materii prime și materiale noi. Economia și valorificarea superioară a materialelor. Buletin de nformare și documentare științifică. INID nr. 5, București, 1986.
71. *Tifănescu, C.* Materiale plastice. Rezistența la agenți chimici. Editura Tehnică, București, 1983.
72. *Horun, S.* Aditivi pentru prelucrarea polimerilor. Editura Tehnică, București, 1978.

2. Tehnologia injectării

În cadrul acestui capitol se vor defini noțiunile întâlnite în cursul procesului de injectare, se vor reliefa condițiile de formare și influența acestora asupra pieselor injectate din materiale termoplastice.

2.1. Principiul injectării

Procesul de injectare este un fenomen ciclic, fiecare ciclu fiind format din mai multe operații. Realizarea unei piese injectate presupune următoarele operații:

- alimentarea materialului (dozarea);
- încălzirea și topirea materialului în cilindrul mașinii;
- închiderea matriței;
- introducerea materialului topit sub presiune în matriță;
- solidificarea și răcirea materialului din matriță;
- deschiderea matriței;
- eliminarea piesei injectate din matriță.

Simplificat, realizarea prin injectare a unei piese poate fi urmărită în *fig.2.1.* Materia primă sub formă de granule se introduce în pâlnia de alimentare *8*, de unde cade în cilindrul de injectare *5*. Materialul plastic ajuns în cilindrul de injectare este transportat de către melcul *7*, în timpul mișcării de rotație, spre capul cilindrului, unde se găsește duza de injectare *4*. Mișcarea de rotație a melcului se realizează cu ajutorul sistemului de angrenare *9*. În timpul transportului granulele ajung în stare de topitură ca urmare a frecărilor, precum și a încălzirii cilindrului de către corpurile de încălzire *6*. Materialul plastic topit este împins sub presiune în matrița de injectat *2*, de către melcul *7*, ca urmare a presiunii exercitate de sistemul de acționare *10*.

După solidificarea și răcirea materialului în matriță, platoul mobil *1* al mașinii de injectat se îndepărtează de platoul fix *3*. Astfel matrița se deschide și ca urmare a acționării sistemului de aruncare al matriței, piesa injectată *11* este aruncată din matriță.

2.2. Trepte de proces

Injectarea materialelor plastice este un proces ciclic care cuprinde operații care nu sunt perfect delimitate. Astfel, plastifierea termică a polimerului începe înaintea deschiderii matriței și evacuării produsului.

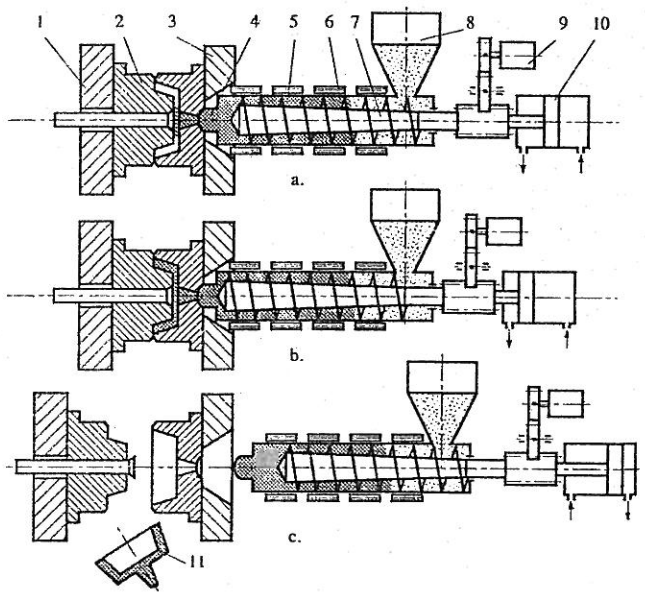


Fig.2.1. Schema de principiu a injectării: a - injectarea materialului în matriță; b - solidificarea și răcirea topiturii; c - deschiderea matriței și aruncarea reperului din matriță; 1 - platoul mobil; 2 - matriță; 3 - platou fix; 4 - duza mașinii; 5 - cilindru; 6 - corp de încălzire; 7 - melc; 8 - pâlnie de alimentare; 9 - sistem de antrenare în mișcare de rotație; 10 - sistem de acționare în mișcarea de translație; 11 - piesă injectată.

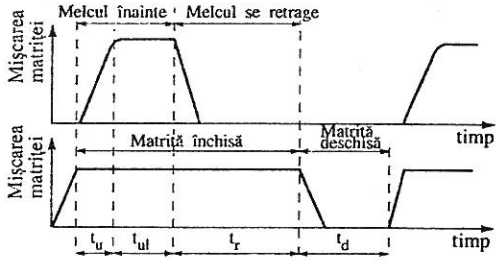


Fig.2.2. Diagramă reprezentând deplasarea melcului și a matriței în procesul de injectare: t_u - timp de umplere matriță; t_{ul} - timp de presiune ulterioară; t_r - timp de răcire; t_d - timp de demulare.

Reprezentând grafic mișcarea melcului și a matriței în cursul procesului de injectare se obține diagrama din *fig.2.2.* [1].

Întregul proces de injectare poate fi cuprins în următoarele trepte de proces [2]:

- plastifierea;
- umplerea matriței;
- compactizarea;
- răcirea și demularea.

2.2.1. Condiţiile de formare

Principalii factori care determină procesul de formare a materialelor termoplastice sunt:
- proprietăţile chimice, fizice şi de curgere ale materialului termoplastic în condiţiile specifice procesului de injectare:
- regimul temperaturilor;
- regimul presiunilor;
- durata necesară formării.

Proprietăţile chimice, fizice şi termodinamice sunt determinante pentru desfăşurarea procesului de injectare. Proprietăţile polimerilor amorfi sau cristalini sunt diferite (vezi cap.1).

Regimul temperaturilor. Topirea materialului termoplastic se face prin transmiterea căldurii de la peretele cilindrului la material sau prin transformarea prin frictiune a energiei mecanice în energie termică. Cu cât temperatura materialului termoplastic este mai ridicată cu atât acesta este mai fluid, matriţa se umple mai uşor, iar timpii de injectare se reduc.

Temperatura matriţei este hotărâtoare în faza de răcire - solidificare a reperului. Măsurând temperaturile locale în mai multe puncte, din interiorul cilindrului de injectare şi a matriţei în timpul unui ciclu, se poate reda sub forma unui grafic dinamica temperaturii materialului termoplastic de-a lungul cilindrului şi a matriţei (*fig.2.3*) [6].

Materialul plastic ce alimentează maşina de injectat la timpul t_0 în punctul de coordonată *l1*, are temperatura T_1. În interiorul maşinii, la timpul t_1, are loc încălzirea la temperatura T_c şi plastifierea. Topitura, pe parcursul stadiului de umplere, curge în cilindrul şi duza maşinii, coordonatele (l_3 - l_4), şi se încălzeşte ca urmare a transformării energiei mecanice în căldură până la temperatura T_s. Temperatura şi vâscozitatea topiturii în timpul umplerii matriţei, timpii t_1 - t_3, se modifică puţin numai în interiorul matriţei (l_4 - l_{10}), pe când în maşina de injectat temperatura rămâne constantă (l_1 - l_4). În stadiile de răcire, după umplerea matriţei, timpii t_3 - t_{11}, temperatura materialului din matriţă scade mult. Descreşterea temperaturii are loc şi în canalele de curgere (l_3 - l_5), iar la un timp de răcire foarte mare, timp t_{11}, poate avea loc chiar şi în cilindrul maşinii.

Regimul presiunilor. În timpul procesului de injectare se dezvoltă o serie de forţe care exercită presiuni importante asupra materialului termoplastic. Procesul poate fi urmărit simplificat în *fig.2.4.* Presiunea exercitată de melc transportă materialul plastic topit din camera cilindrului maşinii, prin duză şi canalele matriţei, până în matriţă pentru umplerea cavităţii acesteia. Presiunea din matriţă atinge valori maxime la sfârşitul cursei melcului şi depinde de forţa exercitată de melcul-piston, vâscozitatea polimerului

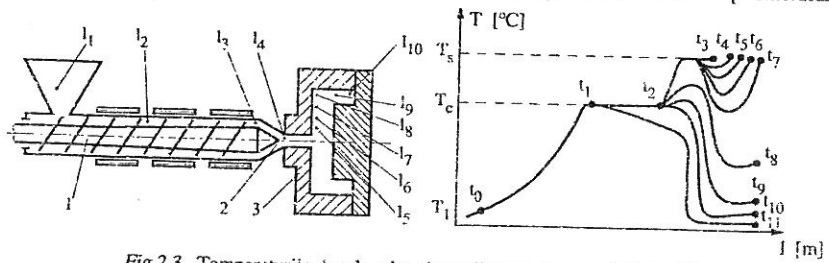


Fig.2.3. Temperaturile locale ale plomerilor pe parcursul injectării:
1 - cilindru; 2 - duză; 3 - matriţă.

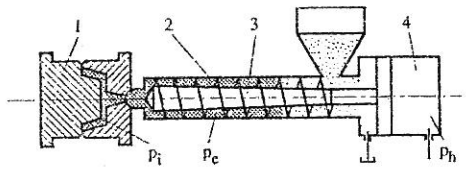


Fig.2.4. Schema simplificată a injectării pentru punerea în evidenţă a presiunilor:
1 - matriţă; 2 - cilindru; 3 - melc; 4 - cilindru hidraulic;
p_i - presiune interioară; p_e - presiune exterioară; p_h - presiune hidraulică.

şi rezistenţa hidraulică a traseului.

Se definesc următoarele noţiuni [7]:

- *presiunea exterioară* p_e care reprezintă presiunea exercitată asupra materialului plastic în cilindrul maşinii de injectat;
- *presiunea interioară* p_i care reprezintă presiunea din cavitatea matriţei. Presiunea interioară este mai mică decât cea exterioară datorită pierderilor de presiune care apar la trecerea materialului prin duza maşinii, duza matriţei, reţeaua de injectare, pereţii piesei injectate.
- *presiunea ulterioară* p_{ul} care reprezintă presiunea exercitată de melc asupra materialului din cavitatea matriţei. Această presiune compensează contracţia rezultată în urma răcirii materialului;
- *presiunea de sigilare* p_s definită ca presiunea exercitată asupra materialului plastic în cavitatea matriţei în momentul solidificării culeei (corespunzător punctului de sigilare);
- *presiunea interioară remanentă* p_r care reprezintă presiunea din piesa injectată în momentul începerii deschiderii matriţei.

După sigilare, materialul se contractă datorită răcirii şi în consecinţă presiunea scade, fără însă a atinge o valoare egală cu zero.

Reprezentarea grafică a dependenţei dintre presiunea din matriţă şi timpul de injectare, defineşte curba caracteristică a ciclului de injectare (*fig.2.5*).

Ciclul de injectare se desfăşoară după cele patru stadii distincte. Umplerea matriţei are loc de la t_0 la t_2.

În prima parte (*0-1*) presiunea rămâne constantă, iar apoi în momentul umplerii creşte brusc la valoarea p_i (porţiunea de curbă *0-2*).

În stadiul de compactizare, polimerul se răceşte şi volumul scade. Se aplică presiunea ulterioară care determină introducerea unor noi cantităţi de topitură. Se ajunge până la o valoare maximă a presiunii interioare p_i *max*, după care presiunea va scădea

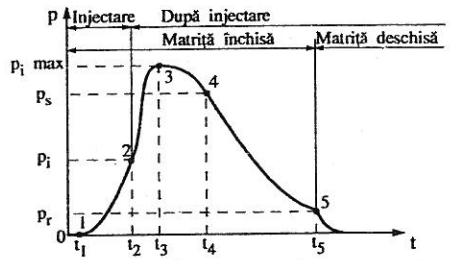


Fig.2.5. Ciclul de injectare: p_i - presiunea interioară; p_s - presiunea de sigilare; p_i max - presiunea interioară maximă; p_r - presiunea remanentă.

până la valoarea presiunii de sigilare p_s (2-4).

Răcirea se caracterizează printr-o scădere mai lentă a presiunii ca urmare a solidificării (4-5).

La sfârșitul stadiului, matrița se deschide și obiectul este evacuat din matriță.

Presiunea remanentă în punctul 5 trebuie să fie mai mare decât presiunea mediului, pentru a asigura dimensiunile obiectului.

Durata de formare depinde de caracteristicile polimerului, de dimensiunile obiectului injectat și de sistemul de răcire al matriței. Durata de formare determină productivitatea mașinii și calitatea pieselor injectate. Un element important în determinarea duratei de formare îl constituie raportul dintre greutatea piesei injectate și capacitatea de plastifiere a agregatului.

2.2.2. Plastifierea

În treapta de proces *plastifiere* se crează premisele pentru treapta de proces *umplere matriță* și *compactizare*. Materialul plastic în formă de granule este transformat prin transfer de căldură într-o topitură.

Procesul de plastifiere are loc prin transferul de căldură de la peretele cilindrului la materialul plastic și prin căldura de fricțiune din interiorul materialului. Forfecarea din interiorul canalului melcului provoacă pe lângă încălzire și amestecare intensă. Aceasta mărește eficiența transferului de căldură de la peretele cilindrului la masa de formare prin convecție forțată.

Telul plastifierii este asigurarea unei topituri omogene din punct de vedere material, reologic și termic, cu o vâscozitate suficient de scăzută pentru a permite fenomenele de transfer de presiune și curgere.

Fenomenul plastifierii poate fi descris detaliat. Materialul plastic aflat în canalul melcului, datorită frecării de peretele cilindrului, este împiedicat de a lua parte la rotația melcului și din acest motiv este transportat axial, adică spre vârful melcului. Cu cât mișcarea axială a materialului este frânată mai puternic, cu atât mai intens este forfecat materialul între cele două straturi marginale, considerate aderate la peretele cilindrului, respectiv de fundul canalului melcului.

În timp ce în zona de alimentare granulele pătrund în canalul melcului, în capul melcului se acumulează materialul topit. Umplerea crescândă a spațiului de acumulare are ca efect o mișcare axială a melcului în timpul rotației. Prin aceasta, melcul-piston împinge înapoi în rezervor o cantitate de ulei hidraulic (*fig.2.4*).

Sistemul hidraulic poate fi reglat astfel încât mișcarea înapoi a melcului să se facă numai după depășirea unei contrapresiuni reglabile numită *contrapresiune de dozare* sau *contrapresiune de plastifiere*. Rotația melcului, și prin aceasta și mișcarea sa axială, sunt stopate când se atinge un limitator de cursă reglabil.

Melcul și materialul plastic rămân într-o stare de repaus până la începutul mișcării de avansare a melcului pentru umplerea matriței în ciclul următor. În timpul staționării melcului, materialul plastic din spațiul de acumulare și canalul melcului se află în schimb continuu de căldură cu peretele cilindrului.

Dacă capacitatea de plastifiere a unei mașini de injectare este prea mică și timpul de ciclu prea scurt, poate apare o topire neomogenă sau incompletă a granulatului.

În finalul procesului de plastifiere, topitura are temperatura T_m. În funcție de condițiile de plastifiere, valoarea T_m poate fi mai mare, egală sau mai mică decât

valoarea reglată pe regulatoarele de temperatură.

Alegerea punctului de funcționare în procesul de plastifiere înseamnă adaptarea condițiilor de plastifiere la cerințele unei vâscozități scăzute și unei omogenități corespunzătoare, nedepășindu-se un timp maxim admis de rotație al melcului pentru reducerea duratei ciclului de injectare la o valoare minimă.

2.2.2.1. Definirea treptei de proces „plastifiere"

Treapta de proces *plastifiere* cuprinde, pentru masa injectată necesară unui reper, întregul timp de reținere în mașina de injectare, care are o durată de mai multe cicluri de injectare în cadrul căruia au loc mai multe rotații și staționări ale melcului.

Pentru plastifiere se definesc următoarele limite:

- *început:* intrarea materialului plastic din pâlnia de alimentare în canalul melcului;
- *sfârșit:* injectarea materialului plastic topit din spațiul de acumulare o dată cu începutul mișcării de avansare a melcului-piston la umplerea matriței.

Durata procesului de plastifiere se caracterizează prin *timpul de reținere* t_R.

2.2.2.2. Sistem de mărimi

Se privește procesul de plastifiere ca un sistem de valori de intrare și de ieșire conform *fig.2.6.*

Valori de reglare a termoregulatorului T_{tr}. Încălzirea cilindrului de plastifiere este împărțită în 4...6 zone de încălzire (*fig.2.1*), fiecare zonă având un termoregulator propriu care poate fi reglat la o valoare dată T_{tr}.

Pentru fiecare zonă de încălzire există o posibilitate de citire a valorii reale sau a abaterii de la valoarea reglată.

Deoarece palpatorii de măsurare (termorezistențe sau termocuple) pentru măsurarea temperaturii peretelui cilindrului sunt dispuși, de regulă, la câțiva milimetri depărtare de pereții interiori ai cilindrului, există o diferență între valoarea reglată și temperatura peretelui cilindrului. Această diferență poate fi negativă sau pozitivă în funcție de încălzirea prin forfecare din interiorul materialului plastic, care contribuie la bilanțul termic general. Pentru zonele de încălzire ale cilindrului există în principiu mărimi diferite de reglare și un număr mare de variante de reglaj posibile.

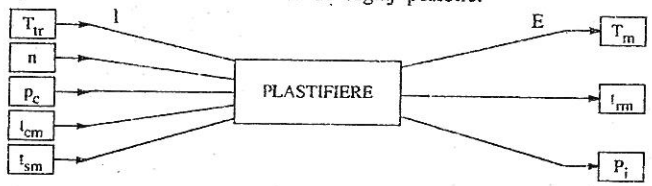


Fig.2.6. Sistem de mărimi în treapta de proces plastifiere:
I - mărimi de intrare; E - mărimi de ieșire; T_{tr} - temperatura reglată a termoregulatorului; n - turația melcului; p_c - contrapresiunea de plastifiere; t_{cm} - întârzierea de cuplare a melcului; t_{sm} - timp de staționare melc; T_m - temperatura masei de formare; t_{rm} - timp de rotație a melcului; P_i - proprietățile reperului;

În capitolul I există recomandări pentru programe de temperatură ale zonelor cilindrului pentru diferite materiale termoplastice.

În multe cazuri, în practică, valorile de reglare ale termoregulatoarelor sunt modificate pentru a remedia defecte ale pieselor injectate sau deranjamente funcționale.

O dată cu creșterea T_{tr} scade vâscozitatea topiturii și umplerea matriței devine mai puțin critică, dar la un timp de reținere limitat al materialului plastic în cilindru diferența dintre valoarea reglată a termoregulatorului și temperatura materialului crește. De asemenea, efectul de omogenizare din cadrul procesului de plastifiere se înrăutățește. Din acest motiv mărimea T_{tr} se alege numai atât de ridicată cât este necesar pentru umplerea matriței.

Turația melcului n. Turația melcului este citibilă cu suficientă precizie la toate mașinile de injectare. La acționarea melcului cu motor trifazat asincron, treapta de transmisie aleasă determină turația melcului, nemaifiind necesară o măsurare. Dacă antrenarea melcului se face cu hidromotor, turația se reglează printr-o supapă de debit și pentru valoarea reală a lui n există un indicator de turație.

Turația melcului influențează în primul rând timpul de rotație al melcului și în mai mică măsură rezultatul plastifierii. Critică la un melc este pornirea, iar turația maximă este limitată de un moment de rotație maxim admis.

La alegerea turației melcului trebuie să se țină seama că există materiale termoplastice sensibile la forfecare, care prezintă fenomene de descompunere la temperatură ridicată.

Contrapresiunea de plastifiere p_c. Această presiune este reglabilă cu o supapă de reglare a presiunii și se poate citi pe un manometru în timpul rotației melcului (*fig.2.10*). O presiune corespunzătoare contrapresiunii reglate a uleiului hidraulic se găsește în topitura ce se află în fața melcului. Cu cât contrapresiunea de plastifiere este mai ridicată, cu atât mai ridicată este rezistența față de mișcarea axială a melcului și ca urmare amestecarea și forfecarea în canalul melcului este mai intensă.

Întârzierea de cuplare a melcului t_{cm}. Este timpul parțial de ciclu care se măsoară între două limite: căderea presiunii în sistemul hidraulic al mașinii de injectat la sfârșitul presiunii ulterioare și începerea rotației melcului. Această întârziere de cuplare a melcului este reglată cu un releu de timp. Prin valoarea de reglaj poate fi influențată, în unele cazuri, omogenitatea topiturii.

În cazurile nefavorabile, temperatura topiturii care staționează în spațiul de acumulare se ridică la valori mari în zonele marginale, mai mult decât în mijloc, datorită contactului cu peretele cilindrului încălzit. Dacă pentru zonele din apropierea duzei s-au reglat temperaturi ridicate ale cilindrului, dacă se folosesc timpi de reținere reduși și dacă încălzirile datorate forfecării interne a materialului sunt mici, temperatura materialului T_m rămâne sub valorile reglate ale termoregulatoarelor. În asemenea cazuri timpul de așteptare al materialului plastic topit până la începerea umplerii matriței poate să fie scurtat cu o valoare potrivită. Cu cât timpul de repaus al topiturii în spațiul de acumulare este mai redus, cu atât mai redus este pericolul unei supraîncălziri locale pe pereții cilindrului.

Îmbunătățiri dovedite prin reglaje $t_{cm} \neq 0$ se reduc la cazuri speciale; în mod obișnuit $t_{cm} \approx 0$.

Timp de staționare melc t_{sm}. În anumite condiții plastifierea este supusă influențelor treptei de proces răcire. Plastifierea cuprinde întregul timp de reținere a materialului termoplastic în cilindru, timp care este dependent de timpul de răcire.

Se poate nota timpul total al unui ciclu

$$t_t = t_{sm} + t_{rm}, \qquad (2.1)$$

unde:

- t_{sm} - timp de staționare melc;
- t_{rm} - timp de rotație melc.

Timpul de staționare melc se definește ca timp între două limite: sfârșitul rotației melcului și începutul rotației melcului în ciclul următor. Cu cât timpul de staționare este mai mic, cu atât efectul de plastifiere este mai înrăutățit.

Temperatura masei de formare T_m. Prin *temperatura masei de formare* se înțelege temperatura topiturii măsurate cu un termoelement în axa spațiului de acumulare, înaintea începerii umplerii matriței (cap.3).

Pentru scopurile unei practici tehnologice este importantă o valoare reprezentativă indicată a materialului plastic, aceea indicată de sistemul de măsurare. Detalii ale câmpului termic din fața melcului sunt importante la concepția geometriei melcului.

Timp de rotație a melcului t_{rm}. Este timpul parțial de ciclu de la începutul și până la sfârșitul rotației melcului. Pentru t_{rm} se mai folosește și expresia *timp de plastifiere*, care dă însă o imagine eronată asupra duratei timpului de plastifiere.

Timpul de rotație al melcului se poate măsura cu cronometrul. În cazul în care se solicită o stabilitate deosebită de proces (piese cu pereți subțiri, materiale ușor degradabile la temperatură, etc.) este indicat un control al rotației melcului.

Proprietățile reperului P_i. Proprietățile cele mai importante ale reperului, influențate de procesul plastifierii, sunt:

- P_1 - *omogenitatea materială;*
- P_2 - *omogenitate termică;*
- P_3 - *degradare termică.*

Aceste trei stări trebuie înțelese din punct de vedere calitativ și sunt apreciate vizual, aprecierea fiind o diferențiere între repere bune și repere rebut.

Omogenitatea materialului apare în cazul prelucrării unor amestecuri (granulat natur și concentrat de culoare, material recuperat de diferite culori, etc.). O omogenitate insuficientă duce la apariția pe suprafața reperului a unor dungi colorate. Acest defect se poate remedia în multe cazuri prin ridicarea contrapresiunii la dozare.

Omogenitatea termică insuficientă se poate recunoaște prin prezența unor granule incomplet topite, prezente mai ales în apropierea culeei de injectare. Acest defect este un indice în privința capacității de plastifiere a unității de injectare. În acest caz se poate încerca prelungirea timpului de reținere a materialului în cilindru, în măsura în care pierderea de productivitate este admisibilă. O altă posibilitate este prelungirea timpului de rotație a melcului și reducerea timpului de staționare.

O degradare termică a materialului plastic printr-o temperatură de topire prea ridicată și un timp de reținere prea lung se recunoaște prin dungi întunecate pe suprafața reperului.

2.2.2.3. Diagrama de plastifiere

În diagrama de plastifiere valorile de ieșire pentru un sistem dat, mașină de injectare-matriță-material sunt reprezentate ca funcție a mărimilor de intrare.

La întocmirea diagramelor se fac următoarele convenții simplificatoare:

- valorile de reglare ale temperaturii cilindrului T_{tr} au o valoare fixă;
- timpul parțial de ciclu de la sfârșitul rotației melcului până la începutul deschiderii matriței se menține constant;
- întârzierea cuplării melcului t_{cm} nu se variază și primește valoarea zero.

Întocmirea diagramelor este condiționată de o posibilitate de măsurare a temperaturii materialului plastic T_m. Diagramele de plastifiere se întocmesc numai în cazuri tehnologice critice (capacitatea mașinii este folosită la maximum, atunci când nu pot fi depășite valori maxime de prelucrare care duc la degradări, etc.). Luând în considerare convențiile simplificatoare, *diagrama de plastifiere* reprezintă valorile de măsurare timp rotație melc t_{rm} și temperatura materialului plastic T_m ca funcție a variabilelor contrapresiune de plastifiere p_c și a turației melcului n. Reprezentarea se poate realiza suprapunând două rețele de control: o rețea (p_c, n) și o altă rețea (t_{rm}, T_m) conform *fig.2.7.* Rezultă două rețele de linii caracteristice.

Diagrama de plastifiere a unui sistem mașină de injectare-material de formare-matriță ne oferă o serie de date:

- informații de abateri ale temperaturii materialului plastic față de condițiile de plastifiere. Astfel, în procesul de plastifiere se stabilesc puncte de lucru în care temperatura materialului plastic T_m se raportează la valoarea reglată a termoregulatoarelor T_{tr}. Punctele din diagrama de plastifiere aflate în stânga liniei $T_m = T_{tr}$ sunt caracterizate prin timp de reținere al masei în canalul melcului măsurat la limită și un grad de forfecare redus în topitura de material plastic. Punctele aflate în dreapta liniei $T_m = T_{tR}$ sunt un semn, un efect al gradului de forfecare intens și al unui efect de omogenizare intens;
- informații cu privire la timpul de rotație al melcului. Valorile t_{rm} maxime și minime calibrabile se pot citi. Cunoașterea domeniului t_{rm} realizabil este importantă pentru alegerea unui timp de rotație corect în acord cu timpul de răcire. Linia orizontală $t_{rm} = t^*_{rm}$ separă două domenii ale diagramei de plastifiere. Deasupra liniei se află puncte la care timpul de plastifiere este determinat pe durata ciclului, adică nu sunt utilizate rezerve ale duratei ciclului. Sub linia orizontală se află domeniul de reglaje, la care timpul de răcire este determinant pentru durata ciclului;
- informații privitoare la reglarea optimă a ciclului din punct de vedere energetic.

În diagrama de plastifiere sunt realizabile puncte care îndeplinesc următoarele limite:

- *limite de turație*; turația minimă a melcului și turația maximă a melcului, dată de construcția mașinii de injectare sau de expunerea periculoasă a melcului, cuplajului sau transmisiei printr-un moment de rotație prea mare;
- *limite de presiune;* contrapresiunea de plastifiere cuprinsă între valoarea zero și valoarea maximă condiționată constructiv sau date de atingerea unei limite de

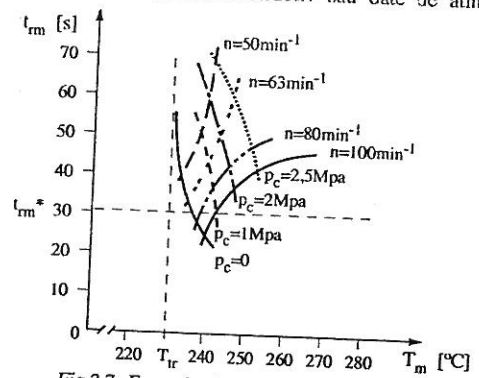


Fig.2.7. Exemplu de diagramă de plastifiere.

moment de rotație;

- *limite tehnologice*. Aceste limite pot fi: contrapresiunea de plastifiere admisă, temperatura minimă și maximă a materialului plastic.

2.2.2.4. Efecte asupra plastifierii

Treapta de proces plastifiere se află sub influența celorlalte trepte de proces prin: timpul de răcire, timpul de umplere matriță, timpul de presiune ulterioară. Dintre acestea influență majoră o are timpul de răcire, celelalte influențe fiind foarte mici. Scurtarea timpului de răcire (cu reducerea corespunzătoare a duratei de ciclu) poate să ducă progresiv la scăderea temperaturii materialului plastic. Mărirea timpului de răcire foarte mult înseamnă abateri ale temperaturii materialului plastic T_m de la valoarea reglată.

2.2.2.5. Alegerea punctelor de lucru

Pe baza diagramei de plastifiere se poate alege punctul de lucru al procesului de plastifiere pentru practica de producție după următoarele criterii:

- prioritate se acordă calității reperului, adică acesta se află în interiorul limitelor tehnologice;
- temperatura materialului plastic să se afle în apropierea liniei $T_m = T_{tr}$;
- turația melcului să fie atât de mică încât valorile t_{rm} să se afle sub valoarea t^*_{rm};
- se va tinde spre un punct de lucru cu un consum redus de energie pe reper.

2.2.3. Umplerea matriței

Ca rezultat al multiplelor cercetări efectuate asupra curgerii topiturilor de termoplaste în matriță, se poate face astăzi o imagine destul de clară asupra procesului de umplere a matriței [5].

Umplerea matriței are loc în conformitate cu *fig.2.8.* Materialul plastic pătrunde în cavitatea matriței prin orificiul de intrare x și curgerea se realizează conform figurii, zona avansată având frontul de curgere în formă de parabolă. Părțile exterioare ale materialului termoplastic topit, în contact cu pereții reci ai matriței, se solidifică formându-se astfel în matriță un strat marginal termoizolant. Pentru materialul aflat sub presiune, canalul de curgere nu mai este format de conturul matriței, ci de stratul marginal întărit. Stratul marginal, ca efect al temperaturii pereților matriței, are viteza de forfecare mai mică decât stratul interior care are viteză de forfecare mai mare. Astfel, între interior și exterior apar viteze de deformare diferite, care determină un front de curgere conform *fig.2.8.* (efect Fountain).

Stratul marginal din matriță este cu atât mai gros, în punctul de observație, cu cât aportul de căldură al topiturii este mai mic, respectiv căldura care ia naștere prin forfecare este mai mică.

Deoarece topitura pierde pe parcursul de curgere o parte din căldură, pentru punctele mai îndepărtate de culeea de injectare, aportul de căldură în unitatea de timp

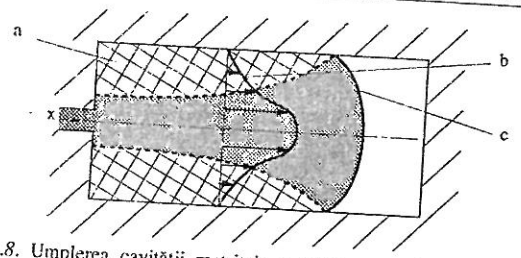


Fig.2.8. Umplerea cavității matriței: x - intrare material plastic topit; a - strat marginal solidificat; b - profilul vitezelor; c - front de curgere.

este mai mic și stratul marginal mai gros decât în apropierea culeei de injectare.

Hotărâtor pentru solidificarea materialului plastic topit nu este drumul parcurs, ci timpul; astfel la o creștere a grosimii stratului marginal, la depărtare de culee, apare curgerea lentă. La piesele injectate cu pereți foarte subțiri apare o creștere importantă a rezistenței de umplere a matriței în cazul unor viteze reduse de umplere.

Piesele injectate se caracterizează, datorită problemelor de umplere a matriței, după raportul parcurs de curgere și grosimea de perete. Cu cât umplerea matriței are loc într-un timp mai scurt, cu atât mai mare poate fi raportul dintre parcursul de curgere și grosimea de perete.

Pentru ca materialul termoplastic să poată curge prin canalele reduse ale rețelei și pentru o umplere cât mai rapidă a cuibului matriței, se impune creșterea presiunii de injectare. Odată cu mărirea presiunii vâscozitatea crește, ceea ce determină scăderea vitezei de deformare. Curgerea materialului se face laminar, chiar la creșterea presiunii, datorită creșterii vâscozității care împiedică curgerea turbulentă.

Unei creșteri a vitezei de umplere i se impune însă, în afara necesarului creșterii de presiune, următoarele trei efecte:

- încălziri prin forfecare în duză, care pot duce la degradări a materialului plastic;
- naşterea unei orientări macromoleculare în piesa injectată, care poate provoca anizotropii cu efecte asupra caracteristicilor mecanice și optice;
- greutăți în eliminarea aerului din cuib, ceea ce poate duce la fenomene de arsură pe suprafața piesei injectate (cap.6.7.).

Procesul de umplere necesită numai 5% din durata ciclului [2]. Pentru realizarea umplerii matriței în bune condiții, mașinii de injectat i se impun mai multe condiții:

- necesitatea folosirii întregii capacități hidraulice și de reglare;
- datorită caracterului expres și nestaționar al procesului de curgere, viteza de avans a melcului crește la începutul umplerii de la zero la o viteză finală și trebuie să scadă din nou sub formă de salt la zero în clipa în care frontul de curgere a ajuns la capătul parcursului de curgere;
- presiunile ridicate ale topiturii din capul melcului, necesare procesului de curgere, nu au voie să se manifeste ca presiuni statice, interne, după terminarea umplerii matriței, deoarece s-ar provoca o supraîncărcare sau o suprainjectare a reperului;
- la scăderea vitezei de injectare scade și eficiența de transport a melcului ca urmare a creșterii pierderilor (circuit invers de topitură în canal, pierderi peste flancul spirei, etc.). Astfel, pentru un reper dat, pentru fiecare viteză de injectare se impune un reglaj al cursei de dozare a melcului.

Umplerea matriței determină hotărâtor proprietățile reperului, astfel:

- influențează starea de orientare macromoleculară;

- influențează temperatura topiturii, mai ales în zonele îndepărtate de locul de injectare;
- indirect are influență asupra compactizării și asupra proprietăților reperului, deoarece efectul de compactare este cu atât mai puternic cu cât este mai scurt timpul de umplere a matriței.

2.2.3.1. Definirea treptei de proces „umplere matriță"

Umplere matriță cuprinde transportul materialului plastic din spațiul de acumulare al mașinii de injectat în cavitatea matriței.

Pentru umplerea matriței se stabilesc următoarele limite:

- *început:* startul mișcării de translație a melcului în direcția duzei. Simultan se sfârșește treapta de proces „plastifiere".
- *sfârșit:* momentul umplerii volumetrice (materialul de formare ajunge în punctul cel mai îndepărtat față de punctul de injectare). Simultan este începutul treptelor de compactare și răcire.

Durata treptei de umplere a matriței este timpul de umplere t_u al matriței. Deoarece momentul umplerii volumetrice a matriței nu se poate determina pe parcursul ciclului de injectare, el este stabilit indirect și afișat.

2.2.3.2. Sistem de mărimi

Se consideră treapta de proces *umplere matriță* ca un sistem cu un număr limitat de mărimi de intrare și ieșire conform *fig.2.9.* [2]. Calitățile speciale ale materialului plastic, aspectele geometrice ale duzei, sistemului de injectare și cavității matriței se consideră caracteristici fixe ale sistemului considerat.

Pentru studiul mărimilor de intrare și ieșire ale sistemului de mărimi considerat, se apelează la schema simplificată a unei mașini de injectare (*fig.2.10*).

Debit de transport Q. Independent de modul real al construcției sistemului hidraulic al mașinii de injectare utilizate, pompa hidraulică furnizează un debit de ulei hidraulic care poate fi reglat la diferite valori între limita maximă și minimă cu ajutorul unui drosel *5.* Combinația dintre pompa hidraulică și supapa de reglare lucrează în așa fel încât debitul de ulei Q este aproape independent de presiunea hidraulică p_h care se formează ca urmare a rezistenței de curgere ce se opune topiturii în duză, sistem de injectare și matriță.

Presiunea de umplere p_u. Rezistența de curgere pe care trebuie să o învingă topitura este formată din însumarea rezistențelor R_1, R_2 și R_3. Rezistențele R_1, R_2 și R_3

Fig.2.9. Sistem de mărimi în treapta de proces „umplere matriță": I - mărimi de intrare; E - mărimi de ieșire; Q - debit de transport; p_u - presiune de umplere; T_m - temperatura masei de formare; T_M - temperatura matriței; t_u - timpul de umplere; P_i - proprietățile reperului.

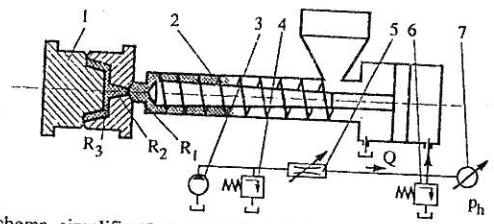


Fig.2.10. Schema simplificată a procesului de injectare: 1 - matriță; 2 - cilindru; 3 - pompă hidraulică; 4 - supapă de reglare a presiunii; 5 - drosel; 6 - supapă de reglare a presiunii; 7 - manometru; R_1 - rezistența de curgere în duză; R_2 - rezistența de curgere în sistemul de injectare; R_3 - rezistența de curgere în cuibul matriței; p_h - presiune hidraulică.

sunt constante în timpul procesului de umplere a matriței. Rezistența R_3, care este rezistența matriței, crește deoarece suprafața de contact între conturul piesei crește pe parcursul umplerii de la zero la o valoare finală. Procesul de umplere a matriței poate decurge în două moduri.

În primul caz debitul de transport Q este constant și presiunea de umplere nu e limitată ca valoare. Creșterea momentană a presiunii de umplere, la începutul umplerii, este provocată de rezistențele R_1 și R_2, iar creșterea lentă a presiunii în continuare reflectă creșterea rezistenței R_3, o dată cu umplerea matriței. Spre sfârșitul umplerii matriței are loc o creștere bruscă a presiunii hidraulice la valorile reglate. Chiar înainte de această creștere bruscă presiunea de umplere atinge valoarea finală p_{uf} (*fig.2.11*).

O a doua posibilitate de influențare a procesului de umplere se realizează atunci când se limitează presiunea de umplere la o valoare maximă numită valoare de reglare a presiunii de umplere p_{ur}. Acest caz este prezentat în *fig.2.12*. Valoarea de reglare a presiunii de umplere se poate citi pe manometrul mașinii, în timpul presiunii ulterioare, folosindu-se un reglaj fără cuplare de presiune ulterioară.

Temperatura materialului plastic T_m. Temperatura materialului plastic în procesul de umplere este determinată prin punctul de lucru al treptei de proces *plastifiere*. Odată cu creșterea temperaturii materialului la formare, rezistența de curgere a topiturii în sistemul de injectare și cuibul matriței scade puternic. Efectul mărimii T_m asupra treptei de umplere matriță se utilizează tehnologic în primul rând pentru compensarea capacităților diferite de curgere a materialelor termoplastice și rapoarte diferențiate, parcurs de curgere și grosime de perete piesă, în așa fel încât să se poată lucra cu timpi de umplere, respectiv presiuni de umplere, care au aproximativ același ordin de mărime.

Pe lângă influența asupra rezistențelor de curgere în timpul umplerii matriței, temperatura materialului plastic are un efect și asupra comportamentului la solidificare a topiturii pe parcursul de curgere. Cu cât valoarea T_m este mai ridicată, cu atât mai lung poate fi timpul de umplere t_u înainte de a apare defectul „reper incomplet injectat".

Temperatura matriței T_M. Procesul de umplere este influențat asemănător și de temperatura matriței. O scădere a temperaturii matriței provoacă o creștere a părții de rezistență, dependentă de gradul de umplere a matriței (rezistența R_3). Acest efect este mai vizibil la repere cu pereți subțiri decât la repere cu pereți groși.

Similar ca la temperatura masei de formare, există și aici un efect asupra comportamentului la solidificare a topiturii.

Timpul de umplere matriță t_u. Timpul de umplere al matriței este o mărime importantă a procesului de umplere a matriței.

La măsurarea timpului de umplere al matriței se va ține cont de următoarele:

- timpii de umplere ai matrițelor se află în domeniul secundelor și din

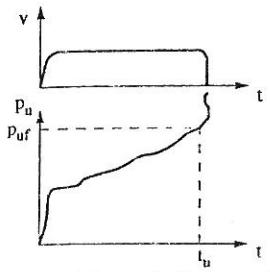


Fig.2.11. Variația presiunii de umplere p_u și vitezei v de avans a melcului în raport cu timpul t (varianta I); p_{uf} - valoarea finală a presiunii de umplere; t_u - timp de umplere.

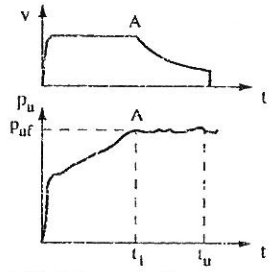


Fig.2.12. Variația presiunii de umplere p_u și vitezei v de avans a melcului în raport cu timpul t (varianta II); p_{ur} - valoarea de reglare a presiunii de umplere; t_u - timp de umplere; A - punct de pe curbă corespunzător intrării în acțiune a supapei de reglare (t_1).

această cauză nu este posibilă o măsurare corectă cu un cronometru manual;

- punctul final „momentul umplerii volumetrice" al matriței nu este citibil nici din comanda mașinii și nici din mișcarea melcului.

Pentru aceasta se folosesc aparaturi speciale.

Proprietăți ale reperelor P_i. Proprietățile reperelor, respectiv defectele cele mai importante ale reperelor, dependente de treapta „umplere matriță", sunt:

- P_1, *starea de umplere*. Starea de umplere insuficientă (repere injectate incomplet) apare ca urmare a unor fenomene de solidificare a topiturii pe parcursul de curgere;

- P_2, *starea de orientare*. În repere se produc orientări puternice ale macromoleculelor. La timpi mici de umplere orientările sunt puternice, iar la timpi de umplere mari, datorită topiturii care se solidifică mai ales la sfârșitul procesului de umplere, orientările se mențin. Minimum de orientare se află la repere cu pereți subțiri la timpi de umplere mai reduși decât la cele cu pereți groși;

- P_3, *rezistența liniei de sudură*. La durate mari ale timpului de umplere a matriței, fronturile de curgere care se întâlnesc în spatele unor obstacole în calea curgerii se sudează insuficient, deoarece topitura este prea rece;

- P_4, degradări termice ale materialului plastic în duză la forfecări intense, mai ales la timp de umplere redus;

- P_5, arsuri locale în zona sudurii frontului de curgere, ca urmare a supraîncălzirii aerului (efect Diesel) (cap.6).

Reacția acestor prorpietăți (defecte) ale reperelor față de modificarea timpului de umplere a matriței este prezentată în *fig.2.13*.

2.2.3.3. Diagrama de umplere

Diagrama de umplere a matriței reprezintă dependența timpului de umplere a matriței t_u de valoarea de reglare a presiunii de umplere p_{ur} și fluxul de transport Q. Ea este reprezentată în *fig.2.14*. Fiecărei linii caracteristice $t_u = f(p_{ur})$ îi aparține o valoare fixă a debitului de transport Q. Liniile caracteristice prezintă o scădere abruptă odată cu creșterea valorii reglate a presiunii de umplere și trec apoi la o linie orizontală. Dacă într-o diagramă de umplere a matriței se unesc punctele de frântură se

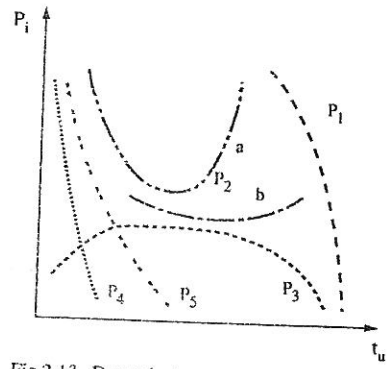


Fig.2.13. Dependența unor proprietăți selectate ale reperului de timpul de umplere: P_i - proprietate; a și b - variante ale lui P_2.

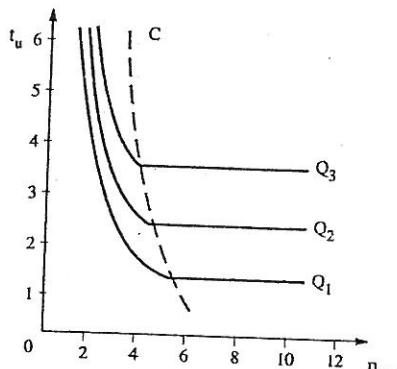


Fig.2.14. Diagrama de umplere: Q_1, Q_2, și Q_3 - debite de transport; C - caracteristica de lucru a matriței.

obține o curbă numită *caracteristica de lucru a matriței*. Această linie caracteristică *C* are un parcurs cu atât mai abrupt cu cât exponentul de curgere al materialului de injectare este mai mare. Pentru înscrierea liniei caracteristice de lucru într-o diagramă de umplere a matriței, sunt suficiente liniile caracteristice de umplere a matriței pentru 3 valori ale lui *Q*.

Una din funcțiile cele mai importante ale diagramei de umplere a matriței este de a oferi posibilitatea unei decizii tehnologice întemeiate în cazul respectiv și de a oferi indicații în legătură cu măsurile de reglare pentru scopul dorit.

Valoarea de reglare a presiunii de umplere p_u și debitul de transport *Q* pot fi alese pentru fiecare mașină de injectat în cadrul unor limite:

- limite tehnice de mașină (între valoarea maximă și minimă a presiunii de umplere, respectiv între debitul de transport maxim și minim);
- limite tehnologice (valoarea maximă și minimă a timpului de umplere a matriței).

2.2.3.4. Efecte asupra umplerii matriței

Procesul de umplere al matriței este supus unor influențe din partea celorlalte trepte de proces.

Astfel, ca urmare a treptei de proces plastifiere, odată cu creșterea temperaturii masei de injectare, linia caracteristică de lucru a diagramei de umplere se deplasează spre valori mai mici de reglare a presiunii de injectare. Creșterea temperaturii matriței usurează procesul de umplere a matriței, similar cu creșterea temperaturii materialului plastic. Limitele de umplere se deplasează spre temperaturi mai mici.

Se acordă atenție valorii minime a temperaturii matriței, care îngreunează procesul de umplere, prin folosirea unor instalații de temperare a matriței. La reducerea timpului de răcire se reduce simultan durata ciclului și timpul de reținere în cilindrul de plastifiere. Odată cu reducerea timpului de reținere scade temperatura materialului și liniile caracteristice ale diagramei se deplasează în direcția presiunii mai ridicate.

2.2.3.5. Alegerea punctelor de lucru

Alegerea punctului de lucru în treapta de proces „umplere matriță" se află în jumătatea inferioară a domeniului, între $t_{u\ min}$ și $t_{u\ max}$.

Ca regulă se poate aplica relația

$$t_u = t_{u\ min} + 0{,}3\ (t_{u\ max} - t_{u\ min}), \qquad (2.2)$$

unde:

- $t_{u\ min}$ - timpul de umplere minim;
- $t_{u\ max}$ - timpul de umplere maxim.

2.2.4. Compactizarea

După umplerea matriței topitura trebuie compactată, deoarece materialele termoplastice au la temperatura de prelucrare un volum specific sensibil mai scăzut decât la temperatura mediului ambiant. Variația de volum specific este deosebit de mare la termoplastele cristaline (cap.1.2.).

Dacă procesul de injectare ar avea loc fără compactare, reperul răcit ar prezenta un volum diferit de volumul cavității matriței. La contracție, în funcție de configurația reperului și a procesului de răcire, ar lua naștere retasuri și goluri. Acestea sunt compensate prin compactarea topiturii. Procesul de compactare este ușurat de faptul că toate termoplastele au o compresibilitate ridicată.

Prin procesul de compactare se înțelege introducerea unei cantități suplimentare de topitură în cavitatea matriței, după umplerea volumetrică. Această cantitate de material se numește *cantitate de compactare.*

La stabilirea tehnologiei pentru un reper dat se hotărește dacă se lucrează cu sau fără pernă de material.

Injectarea cu pernă de material. Pentru a se realiza procesul de compactizare, cursa de dozare a melcului se reglează astfel încât nu tot materialul dozat să fie împins în matriță până la punctul de sigilare, ci să rămână un rest numit *pernă de material.* În caz contrar, la oscilații inevitabile, vârful melcului ajunge în poziția finală înaintea apariției punctului de sigilare, terminându-se prematur compensarea contracției piesei.

Injectarea fără pernă de material. Atingerea presiunii din interiorul matriței la volum constant este realizată cu ajutorul melcului piston care se găsește pe toată durata timpului de presiune ulterioară în poziție constructiv finală în direcția de injectare. Pentru aceasta se necesită dozarea la limită și presiunea hidraulică maximă a mașinii de injectat. Presiunea hidraulică din timpul presiunii ulterioare are numai sarcina să mențină melcul piston în poziția sa limită, până la punctul de sigilare, adică să împiedice un retur al topiturii din matriță.

2.2.4.1. Tranziția umplere matriță - compactizare

Deja în timpul umplerii, topitura este parțial comprimată, și anume neuniform, printr-o cădere de presiune între spațiul de acumulare și frontul de curgere. În momentul în care frontul de curgere atinge sfârșitul parcursului de curgere, în topitură se instalează o stare aproape hidrostatică, detaliile desfășurării presiunii în acest interval de

timp foarte scurt, de aproape 100 ms, depinzând de parametrii de reglare, dar şi de execuţia constructivă a maşinii.

Tranziţia *umplere matriţă - compactizare* decurge pentru cele două variante de proces cu pernă de material şi fără pernă de material.

În cazul injectării fără pernă de material, melcul se deplasează încă o porţiune mică după umplerea volumetrică, până în poziţia constructiv finală. Trecerea la condiţiile cvasistatice ale treptei de compactizare are loc după procesul de compactizare propriu-zis, la atingerea poziţiei finale a melcului piston. Prin aceasta viteza melcului piston cade la valoarea zero.

În cazul injectării cu pernă de material, tranziţia la viteza melcului piston, aproximativ zero, trebuie efectuată de sistemul hidraulic. Acesta joacă, spre deosebire de injectarea fără pernă de material, un rol activ. Cuplarea la presiune ulterioară relativ joasă este declanşată electric în funcţie de cursă sau în funcţie de timp, printr-un traductor de grosime, ca urmare a creşterii presiunii interne în matriţă după umplerea volumetrică.

2.2.4.2. Punct de sigilare

După trecerea unui timp caracteristic numit *timp de sigilare*, respectiv la *punctul de sigilare*, materialul plastic din sistemul de injectare s-a întărit şi posibilitatea transmiterii de presiune de la maşina de injectat la reper s-a terminat. Timpul de sigilare se socoteşte din momentul umplerii volumetrice. Dacă presiunea ulterioară este decuplată înainte de apariţia punctului de sigilare, atunci sub influenţa presiunii interne din matriţă, materialul plastic topit curge înapoi în cilindrul maşinii de injectat.

Timpii practici de sigilare se întind de la o secundă (pereţi subţiri injectaţi punctiform) până la la 30 secunde (pereţi groşi injectaţi pelicular).

Timpul de sigilare este supus influenţelor temperaturii materialului plastic T_u timpului de umplere a matriţei t_u şi punctului de reglare a cursei de dozare (în varianta fără *pernă de material*), respectiv presiunea ulterioară (varianta cu *pernă de material*). De asemenea, nu se poate exclude o influenţă a temperaturii matriţei T_M.

De regulă, la injectarea fără pernă de material, se măsoară timpi de sigilare mai scurţi decât la injectarea cu pernă de material. O influenţă a temperaturii materialului plastic T_m asupra timpului de sigilare este prezentată în *fig.2.15.*

Datorită multiplelor influenţe asupra timpului de sigilare, diferenţiate pregnant de la caz la caz, este corect de a determina aceşti timpi numai după ce celelalte reglaje ale maşinii au fost stabilite.

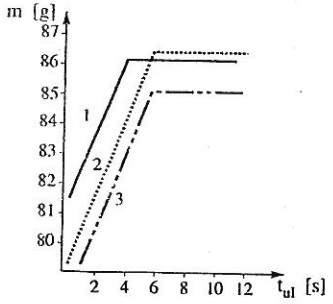


Fig.2.15. Influenţa temperaturii materialului plastic şi a matriţei asupra curbelor de sigilare a unei plăci de polistiren cu grosimea 4 mm, masa 45 g şi injectare pelicular:
1 - T_m = 225°C; T_M = 34°C; p_{ul} = 5MPa;
2 - T_m = 275°C; T_M = 37°C; p_{ul} = 5MPa;
3 - T_m = 275°C; T_M = 67°C; p_{ul} = 5MPa;

2.2.4.3. Definirea treptei de proces „compactizare"

Compactizarea este acea parte a procesului de injectare în timpul căreia în cavitatea matriţei există o presiune aproape hidrostatică care este influenţată de melcul piston al maşinii de injectare.

Pentru compactizarea materialului se stabilesc următoarele stadii:

- *început:* momentul umplerii volumetrice (masa de formare atinge punctul cel mai îndepărtat de la locul de injectare). Simultan se sfârşeşte umplerea matriţei, exprimat prin expirarea timpului de umplere t_u şi începutul treptei de răcire;
- *sfârşit:* punctul de sigilare.

Această definiţie nu ia în considerare că deja în timpul umplerii matriţei are loc o compresie parţială a topiturii.

Durata treptei de compactizare rezultă în esenţă din varianta constructivă a matriţei de injectare utilizată, sistemul de injectare, temperatura materialului plastic topit şi a matriţei. Ea este stabilită prin determinarea timpului de sigilare. În durata treptei de compactizare se deosebeste timpul presiunii ulterioare t_{ul}. Începutul acestui timp coincide cu cel al timpului de compactizare, însă sfârşitul poate să se afle, în funcţie de reglaj, înainte sau după apariţia punctului de sigilare.

2.2.4.4. Sistem de mărimi

Se consideră treapta de proces *compactizare* un sistem cu număr limitat de mărimi de intrare şi ieşire, conform *fig.2.16.*

Presiunea ulterioară p_{ul}. Compactizarea masei de material imediat după terminarea umplerii este determinată, la injectarea cu pernă de material, prin presiunea ulterioară p_{ul} din sistemul hidraulic. Valoarea efectivă a presiunii ulterioare se citeşte pe un manometru. Modificări ale presiunii ulterioare se realizează prin reglarea manuală a unei supape de precomandă sau prin supape hidraulice programabile în trepte, comandate electric.

Punctul de reglare al cursei de dozare X_d. În cazul injectării fără pernă de material, gradul de compactare este determinat de cursa de dozare. Cursa de dozare este caracterizată de punctul de reglare al cursei de dozare X_d. Punctul de reglare al cursei de dozare este o poziţie determinată direct de limitatorul camei de pe maşină „stop rotaţie melc". Orice modificare a punctului de reglare X_d determină o modificare a cursei de dozare a maşinii.

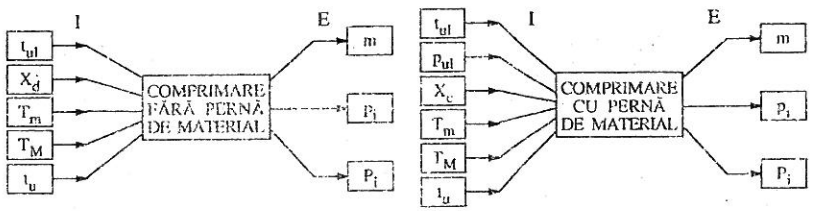


Fig.2.16. Sistem de mărimi în treapta de proces „compactizare": I - mărimi de intrare; E - mărimi de ieşire; p_{ul} - presiunea ulterioară; X_d - punctul de reglare al cursei de dozare; X_c - punctul de cuplare; t_{ul} - timp de presiune ulterioară; T_m - temperatura masei de formare; T_M - temperatura matriţei; t_u - timp de umplere a matriţei; m - masa reperului; p_i - presiunea internă din matriţă; P_i - proprietăţile materialului.

Punctul de cuplare X_c. *Punctul de cuplare*, de la presiunea de injectare la cea ulterioară, prezintă importanță numai la injectarea cu pernă de material. Influența asupra compactizării este deseori subestimată. Indiferent de faptul că la mașina utilizată cuplarea are loc în funcție de cursă, timp sau presiune, există o valoare optimă care trebuie determinată și respectată cât mai precis în timpul producției. Orice modificare a vitezei de avans a melcului piston pretinde un reglaj nou al punctului de cuplare.

La cuplarea în funcție de cursă, notăm, analog cu punctul de reglare a cursei de dozare, punctul de cuplare prin poziția limitatorului similar față de scala fixată pe mașină. Cuplarea reală are loc într-o poziție a melcului piston care se află după punctul de reglare definit ca mai sus, deoarece, între declanșarea semnalului și răspunsul elementului hidraulic, se scurge un timp mort.

Hotărâtor pentru decursul procesului este cursa melcului piston până la punctul de cuplare, adică diferența X_d - X_c. La discutarea mărimii de reglare *punct de cuplare* este practic să se folosească mărimea X_d - X_c ca o variabilă.

Timp de presiune ulterioară t_{ul}. *Timpul de presiune ulterioară* este definit ca timpul scurs de la momentul umplerii volumetrice a matriței și până la căderea presiunii din sistemul hidraulic. Poate fi măsurat cu cronometrul. Punctul de „start" este identic cu punctul „stop" al timpului de umplere.

Mărimea t_{ul} se va deosebi de timpul ce se scurge pe releul de timp „presiune ulterioară". Acesta începe la punctul de cuplare, între presiunea de injectare și presiunea ulterioară, însă acest punct nu corespunde obligatoriu cu umplerea volumetrică. Se poate afirma însă că timpul de presiune ulterioară este identic cu timpul de sigilare, cu două excepții:

- atunci când timpul de sigilare este neobișnuit de lung (mai mare de 20 sec.). În acest caz trebuie determinat un timp optim al presiunii ulterioare la valori mai mici;
- atunci când se injectează repere cu pereți subțiri cu durată de ciclu redusă. În acest caz se determină un timp de presiune ulterioară mai mic decât cel de sigilare.

Alte mărimi de intrare. Și în procesul de compactizare se observă influențe ale altor trepte de proces cu rol major: temperatura materialului plastic topit T_m, timpul de umplere al matriței t_u temperatura matriței T_M. Înaintea alegerii punctului de lucru al treptei de proces compactizare valorile pentru T_m, t_u și T_M sunt deja stabilite.

În practică se petrec frecvente modificări ale punctelor de lucru care au efecte asupra lui T_m și t_u. Este recomandabil în practică, prin asigurarea disciplinei tehnologice, să se asigure o ordine a măsurilor operative de reglare, astfel încât reglarea presiunii ulterioare și a punctului de cuplare, respectiv cursa de dozare, să fie prioritare timpului de umplere matriță și temperaturii masei de formare.

Presiunea interioară a matriței p_i. Mărimea de ieșire cea mai importantă a procesului de compactizare este presiunea din interiorul matriței sau presiunea interioară p_i.

Măsurări ale presiunii interne din matriță sunt utilizate pentru stabilirea empirică a unei curbe presiune internă - timp pentru un sistem dat format din: material, matriță și mașină. Măsurarea presiunii interioare se poate realiza prin mai multe tehnici care cuprind diferite sisteme traductor-amplificator-aparat de înregistrare (cap. 3).

La căutarea curbei optime $p = f(t)$ se folosesc, în parte, criterii de bază rezultate din diagrama p-V-T, și în parte criterii specifice reperului rezultat din aprecierea reperului executat în diferite variante de probă a presiunii interne. Necesitatea efectuării unor probe este legată de faptul că măsurarea presiunii interne este o informație locală care depinde de locul de montare al traductorului de presiune. Curba optimă este folosită în producție, ca și curba valorilor reglate față de care se adaptează curba valorilor reale, prin corectări ale valorilor reglate. Efortul și problema aprecierii informațiilor cuprinse

într-o curbă ridică probleme la aprecierea procesului de producție prin utilizarea măsurătorilor presiunii interne. Din această cauză, în locul curbei presiunii interne, se folosește un punct reprezentativ de pe curbă ca punct de referință (presiunea maximă sau presiunea la un moment dat după avansarea melcului). Obținerea și memorizarea valorii se poate face electronic.

De fiecare dată când se dorește un studiu aprofundat al treptei de proces *compactizare* se recomandă utilizarea măsurătorilor presiunii interne. Trebuie ținut cont de faptul că acest sistem de măsurare nu este numai costisitor, dar pretinde întreținerea mijloacelor de măsurare și valorificarea calificată a informațiilor.

Ca mărime de ieșire înlocuitoare pentru presiunea internă, se poate folosi alungirea coloanei mașinii sau încovoierea matriței sub efectul presiunii interne. Aceste mărimi sunt măsurabile cu mărci tensometrice care au avantajul montării simple și eliminarea măsurătorilor din matriță. Dezavantajos este suprapunerea mai multor informații în traductor și faptul că semnalul de ieșire este cu atât mai slab cu cât este mai rigidă mașina și matrița. Din acest motiv acest sistem este folosit numai în anumite cazuri.

Masa piesei injectate m. Ca mărime de ieșire a compactizării poate fi considerată și masa piesei determinată prin cântărire. Masa piesei injectate se modifică în principal datorită presiunii interioare care în punctul de sigilare determină volumul specific din acel moment al topiturii și prin aceasta valoarea definitivă a masei. Cu cât presiunea internă este mai mică în punctul de sigilare, cu atât mai mare este în acel moment volumul specific al topiturii și cu atât mai mare este contracția reperului. Contracția influențată de presiunea internă este cauza principală a dependenței masei reperului de compactizare.

Într-o mașină mai mică, și diferențiat de la matriță la matriță, apare influența extinderii elastice a matriței sub acțiunea presiunii interne.

Masa măsurată a piesei injectate este o valoare cifrică precisă care nu pune probleme la măsurare. O analiză statică a procesului de injectare se poate face măsurând masa piesei injectate în 10...20 cicluri succesive cu același reglaj al mașinii.

Proprietățile piesei injectate P_j. Proprietățile cele mai importante ale reperelor, în spiritul mărimilor de ieșire ale compactizării, sunt:

- P_6, *fidelitatea de contur*. Aici sunt cuprinse toate aspectele calitative ce se referă la evitarea retasurilor și golurilor;
- P_1, *contracția*. Hotărâtor pentru păstrarea dimensiunilor piesei injectate este contracția;
- P_2, *tensiuni interne și de formare*. Tensiunile interne sunt influențate de presiunea interioară, iar tensiunile proprii determină abateri de formă și poziție (deformare).

Proprietățile amintite ale reperelor reacționează calitativ față de starea de compactizare, așa cum este prezentat în *fig.2.17*, de unde rezultă că fidelitatea de contur cât se poate de ridicată, pe de o parte, și un număr de tensiuni interne, pe de altă parte, reprezintă cerințe concurente. Pentru un reper dat cea mai bună soluție este un compromis.

2.2.4.5. Diagrama de compactizare

Liniile caracteristice obținute au rolul de a furniza date pentru alegerea punctului de lucru și procesul de compactizare. Întocmirea liniilor caracteristice are loc prin măsurători în sistemul dat, masa de formare-matriță-mașină. Matrite diferite pentru același reper ne dau diagrame de compactizare care se deosebesc cantitativ în detalii. Și o schimbare a mașinii de injectare duce în multe cazuri la o deplasare a liniilor caracteristice.

Diagrama de compactizare se întocmește numai după definitivarea punctelor de lucru a treptelor de proces *plastifiere, umplere matriță* și *răcire*. Deci o diagramă de compactizare este valabilă pentru valori fixe ale temperaturii materialului plastic T_m, timpului de umplere matriță t_u, temperaturii matriței T_M și temperaturii de demulare T_d.

Ca și *diagramă de compactizare* se utilizează o reprezentare dublă a caracteristicilor (*fig.2.18*). Partea din stânga este valabilă pentru injectarea fără pernă de material și folosește ca abscisă punctul de reglare al cursei de dozare X_d. Partea dreaptă este valabilă pentru injectarea cu pernă de material, introducându-se în abscisă punctul de cuplare X_c prin diferența $X_d - X_c$. Hotărâtor pentru decursul procesului este cursa melcului până la cuplare, adică diferența $X_d - X_c$, care se comportă ca o variabilă independentă. În ambele diagrame în abscisă se găsește reprezentată cursa X_d sau $X_d - X_c$. În ambele cazuri timpul de presiune ulterioară, tul, este o constantă, iar pentru cazul cu pernă de material presiunea ulterioară este considerată ca un parametru al unui mănunchi de curbe.

În cazul injectării *fără pernă de material*, curba $m = f(X_d)$ are forma prezentată în *fig.2.18.a*. Începând cu reglări ale cursei de dozare, care sunt atât de scurte încât iau naștere repere incomplet injectate, se parcurg mai multe domenii în care presiunea internă crește și atinge o valoare maximă, după care orice creștere a lui X_d nu mai influențează masa materialului de injecție; curba caracteristică tinde spre un parcurs orizontal. Se specifică că prin X_d se înțelege o mărime de reglare, adică poziția aleasă a limitatorului „rotație melc stop" din reglajul mașinii. Valoarea crescândă X_d nu înseamnă o mișcare a melcului piston, ci o suită de cicluri de injectare cu valori diferite a mărimii de reglare X_d.

În domeniul *cu pernă de material*, *fig.2.18.b*, sunt mai multe curbe caracteristice $m = f(X_d - X_c)$ în care presiunea ulterioară p_{ul} este parametrul grupului.

Pe parcursul unei caracteristici se trece prin domeniile *punct de cuplare timpurie* și *punct de cuplare târziu*. Între ele se află punctul de umplere corespunzător procesului. La o cuplare timpurie, în matriță ia naștere o cădere de presiune, reperul fiind insuficient compactat, iar masa lui este mai redusă. La *punct de cuplare corespunzător* presiunea ulterioară este eficientă exact în momentul umplerii volumetrice. În domeniul *cuplare prea târzie* presiunea de umplere pătrunde în treapta de compactizare. Ca urmare, masa reperului depinde de valoarea de reglare a presiunii de umplere p_u și forța de zăvorâre a mașini. În marea majoritate se ajunge la suprainjectări și o creștere abruptă a masei reperului o dată cu creșterea masei $X_d - X_c$.

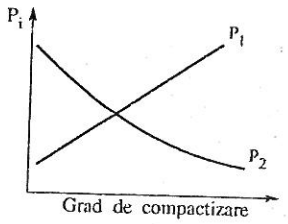


Fig.2.17. Dependența gradului de compactizare de proprietățile piesei injectate; P_i - proprietăți.

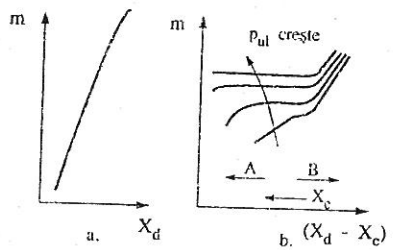


Fig.2.18. Diagrame de compactizare:
a - cazul fără pernă de material (t_{ul} = const.);
b - cazul cu pernă de material (t_{ul} = const., X_d = const., X_c = variabil);
A - cuplare timpurie; B - cuplare târzie.

2.2.4.6. Efecte asupra compactizării

Asupra treptei de proces *compactizare* au influențe celelalte trepte de proces care se manifestă mai ales prin efectul temperaturii. Importantă este evoluția temperaturii în sistemul de injectare și cavitatea matriței din momentul umplerii volumetrice. Condițiile se complică prin aceea că apar mai multe efecte contrare care, în funcție de forma reperului și sistemul de injectare, domină câte unul.

Treptele de proces influențează compactizarea mai ales asupra valorii medii a temperaturii topiturii în cavitatea matriței. Temperatură mai ridicată înseamnă volum specific mai mare în momentul sigilării și prin aceasta o masă mai mică a reperului în final. De asemenea, odată cu schimbarea temperaturii topiturii se modifică și timpul de sigilare.

O detaliere a influențelor treptelor de proces se face la în lucrarea [2].

2.2.4.7. Alegerea punctelor de lucru

Alegerea punctului de lucru pe baza diagramei de compactizare cuprinde atât reglajul punctului de lucru cât și decizia alegerii procesului de lucru cu sau fără pernă de material.

Factorul hotărâtor al deciziei trebuie să fie calitatea reperului. Din analiza diagramelor de compactizare se constată că o anumită calitate hotărâtoare a reperului corespunde cerințelor numai în anumite puncte de lucru.

Un al doilea criteriu de decizie îl constituie stabilitatea procesului. Pentru aceasta se măsoară dispersia masei reperului în unele puncte caracteristice ale diagramei de compactizare cu și fără pernă de material. Dacă dispersia masei de material este aproape aceeași pentru toate punctele de lucru, în interesul stabilității procesului, cel mai indicat este un punct de lucru în mijlocul domeniului utilizabil al diagramei de compactizare, adică aproximativ între valorile minim și maxim.

În al treilea rând alegerea punctului de lucru în procesul de compactizare poate influența consumul de material. Adesea renunțarea la perna de material duce la o reducere a consumului. Datorită legăturii între mărimea de reglare și masa reperului, puncte de lucru fără masă de material pot fi recomandate ca reglaje normale. Numai la apariția unor defecte ale reperului, dependente de compactare, se va lua în considerare perna de material.

În general, nefavorabile sunt punctele de lucru cu pernă de material care se consumă în timpul presiunii ulterioare.

2.2.5. Răcirea și demularea

Răcirea piesei injectate de la valoarea maximă a temperaturii materialului plastic (în timpul umplerii matriței), la temperatura camerei solicită, datorită conductibilității a materialului termoplastic, un timp relativ lung. Temperatura într-un loc din interiorul reperului evoluează conform *fig.2.19*. Până la punctul *A* ($t = t_r$) reperul se găsește în matrița închisă. După deschiderea matriței, procesul de răcire continuă în afara matriței. Pentru procesul de injectare, în primul rând, este importantă examinarea fenomenelor de

răcire în interiorul matriței.

Timpul de răcire caracteristic pentru procesul de răcire este timpul parțial cel mai lung al ciclului de injectare, reprezentând aproximativ 68% din durata totală a ciclului. Pentru a atinge, în vederea unei productivități ridicate, timpi scurți de ciclu, terbuie prevăzute măsuri pentru reducerea timpului de răcire.

Tehnologia injectării presupune obținerea unui timp și viteze de răcire astfel încât să se asigure calitatea prescrisă piesei injectate. Prin variația timpului de răcire și a temperaturii matriței (care determină viteza de răcire) se epuizează în esență posibilitățile tehnologice de influențare a procesului de răcire în matriță. Cu toate că aceste posibilități tehnologice par ușor de atins, procesul de răcire implică alte greutăți tehnologice. Aceasta se datorează faptului că temperatura matriței nu are caracterul unei mărimi de reglare și este supusă unor efecte din timpul procesului.

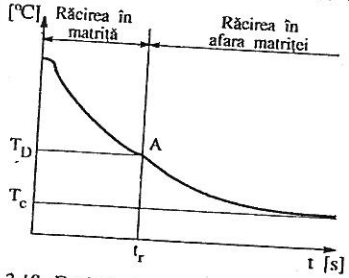


Fig.2.19. Evoluția temperaturii în centrul unui reper în timpul răcirii:
T_c - temperatura camerei; T_D - temperatura de demulare; t_r - timp de răcire.

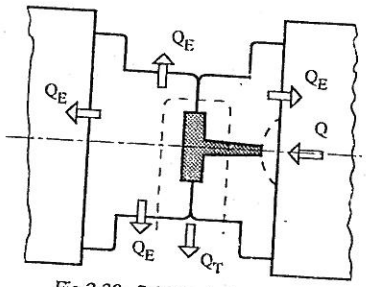


Fig.2.20. Schimbul de căldură la o matriță de injectat.

2.2.5.1. Definirea treptei de proces „răcire"

Ca treaptă de proces, *răcire* este considerată partea procesului de răcire care are loc în matriță. Din modelul structurii procesului de injectare pentru durata treptei de proces *răcire*, și prin aceasta și a timpului de răcire t_r, definim următoarele limite:

- *început:* momentul încheierii procesului de umplere volumetrică a matriței (masa de formare ajunge în punctul cel mai îndepărtat de locul de injectare din matriță). Fenomenul se petrece simultan cu sfârșitul treptei de proces „umplere matriță", exprimat prin sfârșitul timpului de umplere t_u.
- *sfârșit:* începerea procesului de deschidere a matriței simultan cu începutul treptei de proces *demulare*.

Timpul de răcire t_r nu se poate regla direct pe mașinile de injectat. În majoritatea cazurilor este reglabil un timp parțial de ciclu, numit *timp de staționare*, care începe la sfârșitul timpului de presiune ulterioară și se termină odată cu timpul de răcire la începutul procesului de deschidere a matriței.

2.2.5.2. Sistem de mărimi

Se consideră o matriță de injectat (*fig.2.20*). Temperatura matriței, care este mărimea

hotărâtoare pentru viteza de răcire și proprietățile reperului injectat, se stabilește în funcție de schimbul de căldură care are loc în matriță:

- între materialul termoplastic injectat în matriță (piesa injectată) și materialul matriței Q;
- între matriță și mediul de temperare Q_T;
- între matriță și mediul înconjurător (platourile mașinii și aer) Q_E.

Dacă se consideră fluxurile termice care pătrund în matriță ca pozitive, iar fluxurile termice care părăsesc matrița ca negative, atunci se poate scrie ecuația de bilanț

$$Q + Q_E + Q_T = 0 . \qquad (2.3)$$

Altfel se poate exprima: cantitatea de căldură care este preluată de matriță este identică cu cantitatea de căldură cedată de matriță, în cazul în care temperatura matriței se consideră constantă în timp.

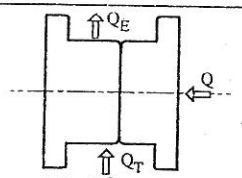
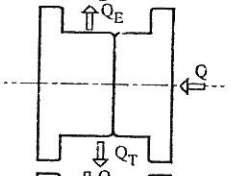
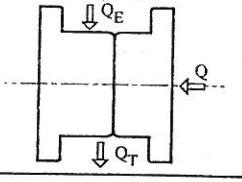
În funcție de temperatura matriței necesară pentru un proces de producție dat, există trei cazuri distincte prezentate în *tab.2.1.*

Bilanțul termic exprimat de ecuația (*2.3*) se poate considera ca o ecuație de bază a procesului de răcire. Explicitând expresiile Q, Q_E, Q_T (cap. 6.6.) se pun în evidență mai multe mărimi de proces. Aceste mărimi se pun în evidență considerând treapta de proces *răcire* ca un sistem limitat de mărimi de intrare și ieșire (*fig.2.21*).

Temperatura T_T, respectiv debitul de curgere $\dot{V}_T$, al lichidului de temperare. În funcție de societatea producătoare, în practică se utilizează ca mărimi de reglare, fie temperatura lichidului T_T, fie debitul lichidului $\dot{V}_T$.

În domeniul normal ale răcirii matriței (domeniul *2, tab.2.1*) mediul uzual de temperare este apa din circuitul industrial al fabricii. În acest caz temperatura de intrare T_T este o mărime neinfluențabilă de tehnologie, iar mărimea de reglaj este debitul $\dot{V}_T$. Valoarea de ieșire, temperatura matriței T_M, reacționează pregnant la valori mici ale

Tab.2.1. Cazuri de temperare la o matriță de injectat.

Nr. caz	Domeniul temperaturii matriței T_M	Tipul transferului termic		Mediul de temperare
1.	T_M = 70...100°C	$Q>0$ $Q_E<0$ $Q_T>0$		Apă sau ulei de la un aparat de temperare, T_T = 80...120°C.
2.	T_M = 20...70°C	$Q>0$ $Q_E<0$ $Q_T<0$		Apă de la un aparat de temperare, T_T = 30...80°C.
3.	T_M < 20°C	$Q>0$ $Q_E>0$ $Q_T<0$		Apă de la un aparat de temperare, T_T = -5...+10°C.

lui $\dot{V}_T$ și aproape deloc în cazul valorilor mari $\dot{V}_T$ la măsuri de reglare. Un dezavantaj al reglării debitului este faptul că la viteze mici de curgere apa se încălzește puternic în matriță și prin aceasta procesul de răcire la intrarea în matriță este mai intens decât la ieșirea din matriță. Avantajos este că intensitatea de răcire poate fi reglată separat pentru fiecare circuit de temperare. Pentru temperaturi ridicate ale matriței și răcire intensivă (domeniul *1* și *3* din *tab.2.1*) se utilizează aparate de temperare la care temperatura mediului de temperare T_T este selectabilă, ca o mărime de reglare.

Vitezele de curgere a mediului de temperare se reglează și se află în domeniul de turbulență, așa că oscilații mici nu afectează aproape deloc temperatura matriței.

Timp de răcire t_r, respectiv durata ciclului t_t. În afara timpului de răcire, durata totală a ciclului influențează treapta de răcire: cu cât t_t este mai scurt, cu atât mai mare este cantitatea de căldură transportată în matriță pe unitatea de timp. Timpul total al ciclului se poate scrie

$$t_t = t_u + t_r + t_d , \tag{2.4}$$

unde:

- t_u - timp de umplere;
- t_r - timp de răcire;
- t_d - timp de demulare.

Deoarece

$$t_u << t_r + t_d , \tag{2.5}$$

$$t_d = K \ \text{(constantă)}, \tag{2.6}$$

relația (2.4) se transformă prin introducerea lui (2.5) și (2.6) în expresia

$$t_t \approx t_r + K . \tag{2.7}$$

Din relația de mai sus se observă că cei doi timpi t_t și t_r pot fi considerați ca forme diferite ale aceleiași mărimi de reglare. Aceasta corespunde practicii deoarece după reglarea matriței, a mișcărilor acesteia și a pauzei, timpul de demulare t_d nu se mai schimbă. La analiza răcirii se folosește din acest motiv timpul de răcire t_r sau durata totală a ciclului t_t.

Pentru a reprezenta influența duratei ciclului asupra temperaturii matriței se definește frecvența ciclului ca variabilă

$$f = \frac{1}{t_t} . \tag{2.8}$$

Temperatura materialului plastic T_m. *Temperatura materialului plastic* de formare este codeterminată de cantitatea de căldură transferată de la piesa injectată la matriță Q. La alegerea condițiilor de răcire, aproape în toate cazurile s-au fixat punctele

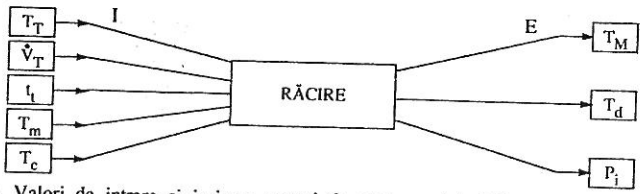


Fig.2.21. Valori de intrare și ieșire a treptei de proces „răcire": I - mărimi de intrare; E - mărimi de ieșire; T_T - temperatura lichidului de temperare; $\dot{V}_T$ - debitul lichidului de temperare; t_t - durata ciclului; T_m - temperatura masei de formare; T_c - temperatura camerei; T_M - temperatura matriței; T_d - temperatura de demulare; P_i - proprietățile reperului.

de lucru pentru treptele *plastifiere* și *umplere* și prin aceasta temperatura masei de formare. Din acest motiv dependența și așa neînsemnată a mărimilor de ieșire este mai mult de interes principial decât de importanță practică.

Temperatura mediului (camerei) T_c. Temperatura camerei T_c poate fi neglijată dacă ea se află în domeniul normal 20...25°C. Efectul unor abateri în sus sau în jos asupra temperaturii matriței poate fi compensat de regulă cu o răcire mai slabă sau mai intensă.

Temperatura matriței T_M. *Temperatura matriței* se definește ca o valoare medie a temperaturii corpului metalic al matriței în oscilația ei periodică din timpul ciclului de injectare într-un loc apropiat de conturul matriței și esențial pentru procesul de umplere și răcire a matriței.

Temperatura hotărâtoare pentru viteza de răcire și formarea proprietăților reperului este temperatura peretelui matriței în zona conturului. Ea oscilează în timpul ciclului de injectare (*fig.2.22*) [7]. Înainte de umplere are o valoare minimă și imediat după umplere o valoare maximă. Aceasta este influențată de coeficientul de conductibilitate termică (*tab.2.2*) pentru diferite materiale din care se execută cuibul matriței.

Prin limitarea la un punct de măsurare pe o parte de matriță, dispersia temperaturii în matrița de injectat nu se ia în considerare în afară de diferența de temperatură dintre partea de duză și cea de închidere. Această simplificare este necesară pentru a reduce la strictul necesar valorile de măsurare ce trebuie respectate de tehnolog. Această simplificare se bazează pe considerentul că influențe tehnologice acționează în primul rând asupra nivelului temperaturii și numai în al doilea rând asupra unor gradienți termici din matriță.

La câte un circuit de temperare pe partea de duză și de închidere acest lucru se realizează cu o bună aproximare și la cuplarea în serie a mai multor canale de răcire. În cazul mai multor circuite independente pe o parte de matriță se poate porni de la considerentul că o anumită zonă de contur este importantă pentru formarea proprietăților reperului sau pentru evoluția procesului plasând punctul de măsurare pentru temperatura matriței în acel loc.

La alegerea punctului de măsurare trebuie luate în considerare și puncte de vedere constructive ca: poziția canalelor de temperare, bacuri, aruncătoare, coloane de ghidare, etc.

Temperatura de demulare T_d. *Temperatura de demulare* T_d se definește ca temperatura transmisă de grosimea de perete, într-un anumit loc al reperului, în momentul începerii deschiderii matriței (la sfârșitul timpului de răcire, t_r).

Ea este o dependentă de loc și scade, în cazuri normale, de la locul de injectare spre capătul parcursului de curgere.

În [2] se dă pentru temperatura de demulare T_d expresia

$$T_d = 0,637 \cdot T_{d\,max} + 0,363 \cdot T_M , \tag{2.9}$$

unde:

- $T_{d\,max}$ - temperatura de demulare maximă din mijlocul peretelui piesei;
- T_M - temperatura matriței.

Tab.2.2. **Coeficientul de conductibilitate termică pentru diferite materiale.**

Materialul metalic	ρ [kg/m³]	T [°C]	λ [W/m·°K]
Oțel	7800	100	50,2
Aluminiu	2700	0	209,34
Cupru	8300	20	272,16
Alamă	8600	0	102...105
Bronz	8766	20	41,868

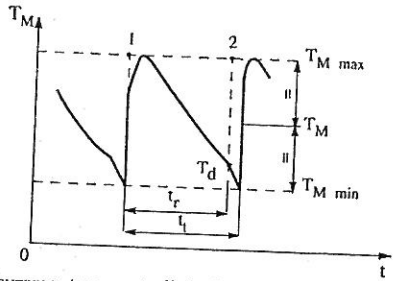


Fig.2.22. Variația în timp a temperaturii matriței.
1 - punct de început de răcire;
2 - punct de sfârșit de răcire.

Măsurarea temperaturii în interiorul reperului se poate realiza cu ajutorul mai multor metode (cap. 7).

Proprietăți ale reperului P_i. Prin alegerea punctului de lucru în treapta de proces se influențează în primul rând deformarea, contracția, postcontracția, tensiunile interne, orientările, proprietățile mecanice și calitatea suprafeței reperului.

Totalitatea proprietăților reperului, influențate de procesul de răcire, depind în exclusivitate de temperatura matriței T_M și temperatura de demulare T_d (*fig.2.23*). Influența temperaturii matriței asupra proprietăților reperelor se va lua în considerare în toate cazurile în care se pune accent pe respectarea dimensiunilor și calitatea suprafețelor.

2.2.5.3. Diagrama de răcire

În *diagrama de răcire*, analog cu caracteristicile celorlalte trepte de proces, se vor citi mărimile de ieșire T_M și T_d ca funcții ale mărimilor de intrare T_T ($\dot{V}_T$) și t_r.

Pe când diagrama de plastifiere este o diagramă pură de mașină, diagramele de umplere și compactare sunt diagrame mașină-matriță, diagrama de răcire este una pură de matriță.

Diagrama de răcire este obținută pe cale semiempirică, fiind formată de câte un câmp de caracteristici termice și izoterme de demulare.

Întotdeauna la o matriță se folosesc două diagrame de răcire, una pentru partea duzei și alta pentru partea aruncării.

Caracteristici termice. O *caracteristică termică* ia naștere când temperatura matriței T_M este reprezentată grafic în funcție de frecvența f a ciclului la temperatură și viteză constantă a mediului de temperare (*fig.2.24*).

În punctul $f = 0$ matrița se găsește la staționarea mașinii. Temperatura T_M ($f = 0$) se află între temperatura mediului de temperare T_T și temperatura încăperii T_c și anume cu atât mai aproape de T_T cu cât mai intensivă este temperarea matriței.

Odată cu creșterea lui f crește și T_M, deoarece odată cu reducerea duratei ciclului

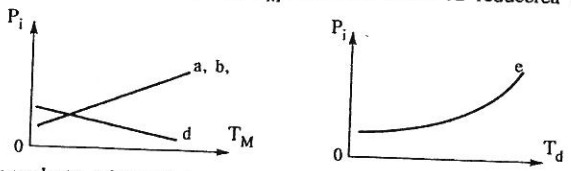


Fig.2.23. Dependența celor mai importante proprietăți ale reperelor de răcire (T_m și T_d) (calitativ): P_i - proprietăți; a - proprietăți de rezistență; b - luciu; c - contracție; d - postcontracție; e - deformare.

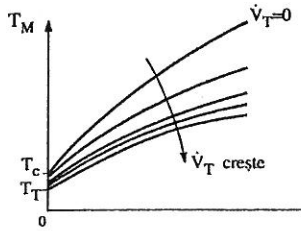


Fig.2.24. Caracteristici termice de lucru ale unei matrițe (T_m - const.; T_T - const.).

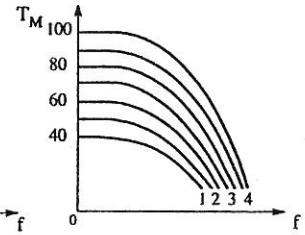


Fig.2.25. Câmpul izotermic de demulare a unei piese injectate (T_m - const.; T_T - const.): izoterma 1, T = 40°C; izoterma 2, T = 60°C; izoterma 3, T = 80°C; izoterma 4, T = 100°C.

total, matrițele devin tot mai calde. Se observă că curba la început are o creștere aproape liniară, apoi se aplatisează, aplatisarea reprezentând începutul unui maxim T_M la valori ridicate ale frecvenței ciclului, care practic nu se ating.

Un rol de excepție joacă caracteristica termică pentru $\dot{V}_T = 0$. Este caracteristica termică cea mai abruptă și caracterizează matriță la răcirea cu aer ($Q_T = 0$). Cu toate că nu este de importanță nemijlocită pentru practică, caracteristica termică $\dot{V}_T = 0$ este o sursă importantă de informații asupra schimbului de căldură a matriței cu mediul.

În practică avem matrițe cu răcire intensă sau slabă. Se recunosc matrițele cu răcire intensă acelea care reacționează puțin la creșterea frecvenței ciclului, adică caracteristicile termice au un curs relativ aplatisat. Matrițele cu răcire slabă se recunosc după caracteristicile termice abrupte.

Izoterme de demulare. Reprezentarea temperaturii de demulare T_d ca funcție a temperaturii matriței T_M și a frecvenței ciclului f determină *izoterme de demulare*. Acest lucru înseamnă o diagramă de răcire în care punctele cu aceeași temperatură de demulare sunt unite între ele. Ecuația izotermelor de demulare este determinată în unele lucrări de specialitate [2, 6].

Câmpul de izoterme care ia naștere prin variația parametrului T_d este reprezentat în *fig.2.25*. Se observă pe caracteristici că, odată cu creșterea frecvenței ciclului (adică cu scăderea timpului de răcire), crește temperatura de demulare. Pentru $f = 0$, adică la marginea din stânga a diagramei de răcire, temperatura de demulare este identică cu cea a matriței, ceea ce corespunde așteptării unor timpi de răcire nesfârșit de lungi.

Dacă există posibilitatea de a măsura temperatura de demulare pe piesa injectată, izotermele de demulare se pot determina și experimental. Domeniul utilizabil al diagramei de racire este îngrădit ca și la celelalte trepte de proces de limitele tehnice și tehnologice ale utilajelor. Limitele tehnologice sunt limite calitative și de rebut. Ca limite tehnologice se semnalează:

- temperatura maximă și minimă a matriței;
- temperatura maximă și minimă de demulare;
- frecvența maximă și minimă a ciclului.

Limitele de utilaje pentru procesul de răcire sunt tempertura maximă și minimă a mediului de răcire.

2.2.5.4. Efecte asupra răcirii

Asupra treptei de proces *răcire* are influență demularea atunci când timpul de

demulare t_d nu poate fi considerat ca o constantă. Acest caz intervine atunci când în locul scoaterii manuale a reperului se foloseşte eliminarea automată sau robot de scoatere. Modificarea timpului de demulare determină modificarea temperaturii de demulare T_d. Câmpul liniilor termice rămâne neinfluenţat, iar câmpul izotermelor de demulare se deplasează; în cazul reducerii lui T_d izotermele de demulare se deplasează în direcţia unei valori mai ridicate a frecvenţei.

2.2.5.5. Alegerea punctelor de lucru

La alegerea punctului de lucru în procesul răcirii se vor îndeplini următoarele condiţii:
- trebuie să fie asigurată calitatea reperului;
- durata ciclului trebuie să fie cât mai scurtă (în interesul unei productivităţi ridicate).

Spre deosebire de celelalte trepte de proces, în treapta *răcire* punctul de lucru optim este critic. Oscilaţii ale duratei ciclului sau mici modificări prin deranjamente ale debitului sau temperaturii iniţiele ale mediului de răcire, pot duce la depăşirea limitelor tehnologice şi pot cauza rebuturi. Cât de mult poate fi apropiat punctul de lucru de limitele tehnologice, $T_{d\ max}$ şi $T_{d\ min}$, depinde de posibilitatea de a evita asemenea deranjamente prin controlul temperaturii matriţei şi a disciplinei tehnologice.

2.3. Timpul total al unui ciclu de injectare

O analiză completă a ciclului de injectare cu punerea în evidenţă a treptelor de proces precum şi a timpilor corespunzători este prezentată în *fig.2.26.*

Timpul total al unui ciclu de injectare se poate scrie folosind formula (2.4), $t_t = t_u + t_r + t_d$.

Timpul de răcire se poate scrie:

$$t_r = t_{pul} + t_{cm} + t_{rm} + t_R . \qquad (2.10)$$

Timpul de demulare se poate scrie

$$t_d = t_{dm} + t_p + t_{im} . \qquad (2.11)$$

Introducând relaţiile (2.10) şi (2.11) în relaţia (2.4) Se determină timpul total t_t

$$t_t = t_u + t_{ul} + t_{cm} + t_{rm} + t_{rest} + t_{dm} + t_p + t_{im} \qquad (2.12)$$

unde:
- t_u - timp de umplere;
- t_{ul} - timp de presiune ulterioară;
- t_{cm} - timp de întârziere la cuplarea melcului;
- t_{rm} - timp rotaţie melc;
- t_{rest} - rest de timp - timpul între sfârşitul rotaţiei melcului şi începutul deschiderii matriţei;
- t_{dm} - timp de deschidere matriţă - timp între sfârşitul şi începutul deschiderii matriţei;
- t_p - timp de pauză - timp între începutul închiderii şi sfârşitul deschiderii matriţei;
- t_{im} - timp închidere matriţă - timp între sfârşitul şi începutul închiderii matriţei.

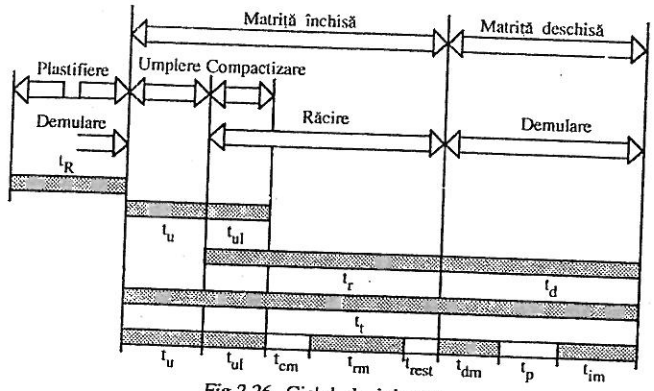


Fig.2.26. Ciclul de injectare.

Pentru fiecare reper există o valoare minimă a duratei ciclului de injectare bazată pe tehnica procesului. Această durată este determinată de dimensiunile reperului, de masa de formare, de cerinţele pe care trebuie să le satisfacă reperul şi de condiţiile tehnice în care se realizează reperul (capacitatea de plastifiere a maşinii, capacitatea de răcire a matriţei, etc.).

BIBLIOGRAFIE

1. *Beck, H.* Spritzgiessen. Carl Hansen Verlag, München, 1963.
2. *Jung, P., Patzschke, H.* Spritzgiessen von Thermoplasten. Kennlinienfelder und ihre Nutzung. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1988.
3. *Sonntag, R.* Leistungsbestimmung von Spritzgiessmaschienen. Kunststoff und Gummi, nr. 3-4, 1965.
4. *Kohhep, K., G., Mohnberg, J.* Spritzgiesse von Formteilen hoher Präzision. Kunststoff-Berater, nr. 10-12, 1974.
5. *Mihail, R., Ştefan, A.* Simularea proceselor de prelucrare a polimerilor. Editura Tehnică, Bucureşti, 1989.
6. *Tudose, Z., R.* Procese şi utilaje în industria de prelucrare a compuşilor macromoleculari. Editura Tehnică, Bucureşti, 1976.
7. *Halasz L.,* Szábalyozás, vezérlés folyama tirányítás a müanyagfeldolgozásban. Müszaki könyvkiadó, Budapest, 1983.
8. *Mayer, G.* Einfluss der Verarbeitungsparametere auf die Qalität von Spritzgussteilen. Plastverarbeiter nr. 3, 1982.

3. Maşini de injectat

Injectarea împreună cu extruderea constituie principalele tehnici de formare a materialelor termoplastice.

Principiul tehnologic al injectării a fost descris pe larg în capitolul 2. Procedeul presupune introducerea materialului plastifiat sub presiune într-o matriţă unde ia forma cavităţii după răcire. Se obţin piese injectate cu dimensiuni fixe care apoi sunt eliminate din matriţă.

La prelucrarea prin injectare trebuie să se îndeplinească exigenţe privind calitatea pieselor, precum şi preocuparea de reducere a costurilor de fabricaţie. Realizarea acestor deziderate este în mod hotărâtor influenţată de maşina de injectat. Pentru prelucrarea materialelor termoplastice au fost realizate o mare varietate de tipuri constructive de maşini de injectat. Îmbunătăţirile aduse permanent maşinilor de injectat vizează creşterea preciziei, creşterea fiabilităţii, economicitatea constructivă şi posibilităţi sporite de automatizare. Maşinile de injectat se caracterizează prin două elemente constructive de bază: unitatea de injectare şi unitatea de închidere [1, 2].

Unitatea de injectare cuprinde sistemul de alimentare cu material, sistemul de plastifiere şi sistemul de injectare.

Unitatea de închidere realizează mişcările de deschidere şi închidere a matriţei de injectat.

Cele mai răspândite sunt maşinile de injectat orizontale cu un singur cilindru de injectare (*fig.3.1*). Parametrii tehnici ai unei maşini de injectat sunt cuprinşi în *tab.3.1.*

3.1. Variante constructive ale maşinilor de injectat

Există numeroase tipuri constructive de maşini de injectat care se pot clasifica după diferite criterii [1, 4, 5, 6, 7, 9].

După sistemul de acţionare, maşinile pot fi:

- manuale. Acestea sunt întrebuinţate în general în laboratoare;
- pneumatice. Sunt maşini de capacitate mică la care pistonul de injectare este acţionat pneumatic;
- electromecanice. Sunt considerate depăşite tehnic;
- electrohidraulice. Sunt cele mai răspândite maşini la care acţionarea, atât a injectării cât şi a închiderii, este hidrostatică.

După direcţia de lucru, maşinile de injectat se pot clasifica în:

- orizontale. Sunt maşini la care axele unităţii de injectare şi de închidere sunt orizontale (*fig.3.2.a*);
- verticale. Sunt maşini având unitatea de injectare cu axul vertical şi unitatea de închidere cu axul vertical (*fig.3.2.b*);
- maşini cu unitatea de închidere orizontală şi unitatea de injectare verticală (*fig.3.2.c*);

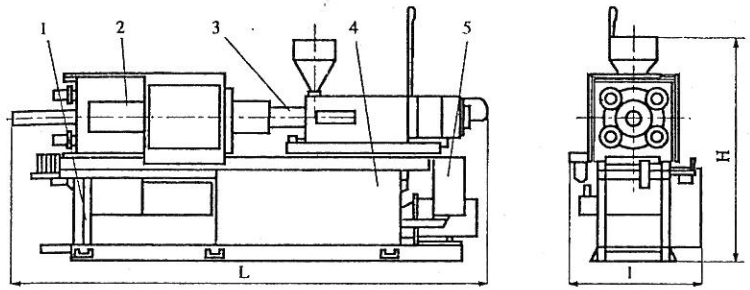
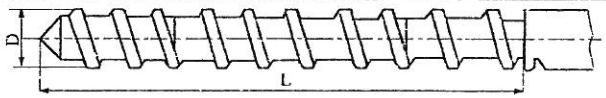


Fig.3.1. Părţile principale ale unei maşini de injectat orizontale cu un singur melc: 1 - batiu; 2 - unitate de închidere; 3 - unitate de injectare; 4 - dulap de comenzi electrice; 5 - aparataj hidraulic de comandă.

Tab.3.1. **Parametrii tehnici ai unei maşini de injectat.**

	Caracterisrica	U.M.	Valoare
Unitatea de injectare	Diametrul melcului	mm	
	Raportul L/D	mm/mm	
	Presiunea maximă de injectare	MPa	
	Volumul teoretic de injectare	cm^3	
	Viteza de rotaţie a melcului	min^{-1}	
	Cursa melcului	mm	
	Forţa de presare a duzei	kN	
	Cursa duzei	mm	
	Capacităţi de plastifiere (polistiren)	kg/h	
	Rata de injectare	cm^3/s	
Unitatea de închidere	Forţa de închidere a matriţei (min.-max.)	kN	
	Forţa de deschidere maximă	kN	
	Viteza de închidere a matriţei	mm/s	
	Viteza de deschidere a matriţei	mm/s	
	Cursa platoului port-matriţă	mm	
	Distanţa între coloane	mm	
	Înălţimea de montare a matriţei	mm	
Caracteristici generale ale maşinii	Puterea instalată	kW	
	Puterea de încălzire	kW	
	Încărcătura de ulei hidraulic	l	
	Consumul de apă de răcire	m^3/h	
	Masa maşinii	kg	
	Dimensiuni (Lxlxh)	mm	



LEGENDĂ: *D-diametrul melcului; L-lungimea melcului.*

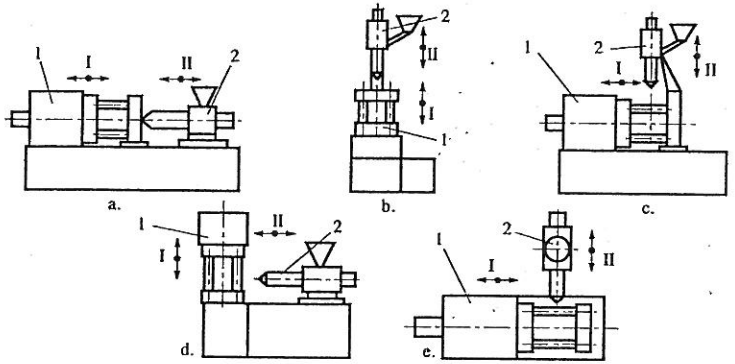


Fig.3.2. Clasificarea maşinilor de injectat după direcţia de lucru:
1 - unitatea de închidere; 2 - unitatea de injectare; a, b, c, d, e - variante constructive;
I - mişcarea unităţii de închidere; II - mişcarea unităţii de injectare.

- maşini cu unitatea de închidere verticală şi unitatea de injectare orizontală (*fig.3.2.d*);

- maşini cu unitatea de închidere orizontală şi unitatea de injectare orizontală aşezată în unghi de 90° (*fig.3.2.e*);

După tipul unităţii de plastifiere-injectare, maşinile pot fi:

- cu piston (*fig.3.3.a*);
- cu melc piston (*fig.3.3.b*);
- cu piston şi extruder auxiliar de plastifiere (*fig.3.3.c*).

După numărul matriţelor, maşinile se clasifică în:

- maşini normale cu o singură matriţă;
- maşini cu mai multe matriţe aşezate pe un carusel care le aduce pe rând în faţa unităţii de injectare.

3.2. Unitatea de injectare

Unitatea de injectare serveşte la plastifierea materialului, introducerea acestuia sub presiune în matriţă şi menţinerea presiunii în stadiul de compresie. Agregatul de plastifiere şi injectare se numeşte simplificat unitate de injectare.

3.2.1 Unitatea de injectare cu piston

Maşinile de injectat pentru materiale termoplastice, a căror construcţie a început în perioada 1920-1930, au fost iniţial echipate cu unităţi de injectare cu piston (*fig.3.4*). Materialul plastic sub formă de granule, din pâlnia de alimentare *5*, este dozat volumetric în camera de dozare *12* de către dozatorul *6*. Pistonul de injectare *7*, acţionat de pistonul hidraulic *9*, împinge materialul plastic în cilindrul de injectare. Materialul plastic este împins spre pereţii cilindrului, încălzit de torpedoul *3*, plastifiindu-se.

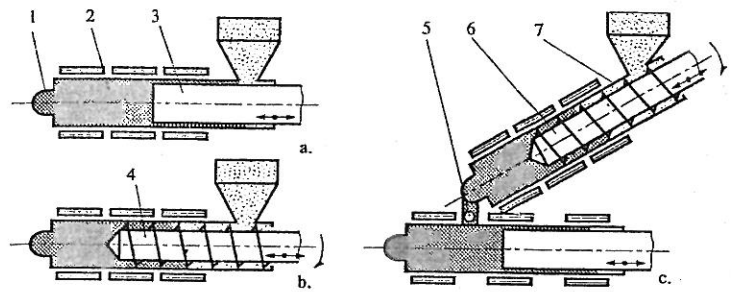


Fig.3.3. Clasificarea maşinilor de injectat după tipul unităţii de injectare-plastifiere:
1 - duza maşinii; 2 - cilindru; 3 - piston; 4 - melc; 5 - supapă; 6 - melc extruder;
7 - cilindru extruder; a - maşină cu piston; b - maşină cu melc piston;
c - maşină cu piston de injectare şi extruder auxiliar.

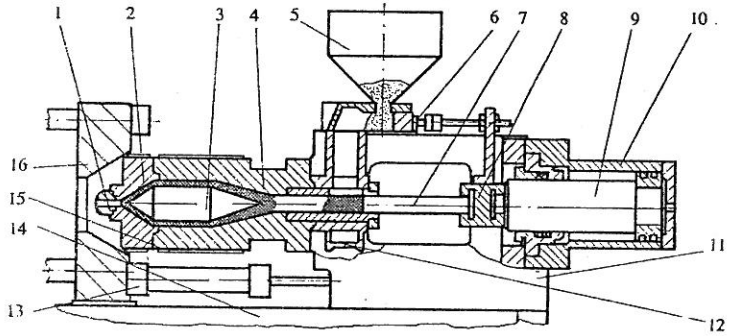


Fig.3.4. Maşină de injectat cu piston:
1 - duză; 2 - ajutaj; 3 - torpilă; 4 - cilindru de injectare; 5 - pâlnie de alimentare;
6 - dozator; 7 - piston de injectare; 8 - bucşă de legătură; 9 - piston hidraulic;
10 - cilindru hidraulic; 11 - masa unităţii de injectare; 12 - cameră de dozare;
13 - cilindru de injectare al masei unităţii de injectare;
14 - batiul maşinii; 15 - corp de încălzire; 16 - platou fix.

Materialul plastic topit este injectat în matriţă prin intermediul duzei de injectare *1*. Apropierea şi îndepărtarea unităţii de injectare de matriţă se realizează cu ajutorul cilindrului hidraulic *13*. Principalele părţi ale unităţii de injectare sunt: cilindrul, pistonul, torpedoul, duza.

Cilindrul de injectare este unul dintre cele mai importante elemente constructive ale maşinii de injectat, având rolul de a aduce materialul în stare plastifiată cât mai omogenă. Clindrul de injectare trebuie să asigure o capacitate de plastifiere optimă cu variaţii de temperatură şi pierderi de presiune minime. Starea materialului în cilindrul de injectare este determinată, în afară de temperaturile zonelor de încălzire, de presiunea care se exercită asupra sa în timpul injectării, de cantitatea de material dozat şi de durata de menţinere a materialului în cilindru.

Materialul termoplastic este supus fenomenului de plastifiere treptat, din camera de alimentare, în cilindru, spre capul de injectare. În *fig.3.5* este redat schematic procesul de plastifiere într-un cilindru cu piston [3, 11]. Granulele de material plastic supuse presiunii pistonului suferă succesiv transformări fizice. În interiorul cilindrului se deosebesc

două curgeri: curgerea granulelor şi curgerea vâscoasă a topiturii. Procesul de bază ce are loc în cilindrul maşinii este încălzirea şi plastifierea materialului termoplastic. Materialul plastic împins prin cilindru se încălzeşte de la temperatura iniţială până la temperatura de topire. Căldura se transmite de la suprafaţa încălzită a cilindrului maşinii la materialul plastic. Temperatura materialului variază pe direcţie radială de la temperatura cilindrului la temperatura minimă. Straturile de material aflate în contact cu peretele fierbinte al cilindrului se plastifiază rapid, în timp ce straturile interne de material primesc mai târziu cantitatea de căldură necesară topirii. Circa 60% din cantitatea de căldură necesară atingerii temperaturii de topire a materialului plastic este cedată în zonele *b, c, d* de plastifiere. În zona de omogenizare *a* este necesară numai cantitatea de căldură care asigură menţinerea temperaturii cât mai aproape de temperatura de topire.

Capacitatea unei maşini de injectat cu piston este limitată de capacitatea de plastifiere a acesteia. Mărirea capacităţii de plastifiere se realizează prin amplificarea suprafeţei de încălzire, respectiv mărirea diametrului cilindrului. Presiunile mari folosite la formare nu permit mărirea diametrului cilindrului decât până la anumite limite. Cilindrul se execută din oţeluri aliate de construcţie cu suprafaţa rectificată. Cilindrul trebuie astfel dimensionat încât să aibă o capacitate de 5...10 ori capacitatea injectată într-un singur ciclu.

Pistonul prin deplasare axială injectează materialul în matriţă. Se execută din oţeluri aliate călite superficial sau din oţeluri de nitrurare.

Torpedoul este o piesă hidrodinamică amplasată în axul cilindrului de injectare. Rolul torpedoului este de a asigura o secţiune de curgere mică, în vecinătatea peretelui cilindrului încălzit şi de a uşura astfel plastifierea materialului în cilindru. Există mai multe soluţii constructive de realizare a torpedourilor [1, 4, 10, 11]. În *fig.3.6* este prezentat un cilindru de injectare cu torpedou prevăzut cu aripioare. Căldura se transmite de la rezistenţele electrice *4*, prin peretele cilindrului *5*, materialului termoplastic. Între două stadii succesive de umplere a matriţei materialul plastic staţionează în spaţiul dintre torpedoul *6* şi cilindrul *5*; astfel el se încălzeşte şi se plastifiază. Datorită curgerii rapide a materialului plastic prin cilindrul de injectare nu rezultă totdeauna o şarjă omogenizată şi plastifiată corect.

Rezultate îmbunătăţite la plastifierea materialului plastic prezintă soluţia constructivă din *fig.3.7*. În acest caz torpedoul este format din două părţi, *4* şi *5*; secţiunea de curgere a materialului plastic pe lungimea torpedoului este formată din mai multe canale circulare dispuse pe un cerc. Folosirea miezului interior cu găuri multiple determină o

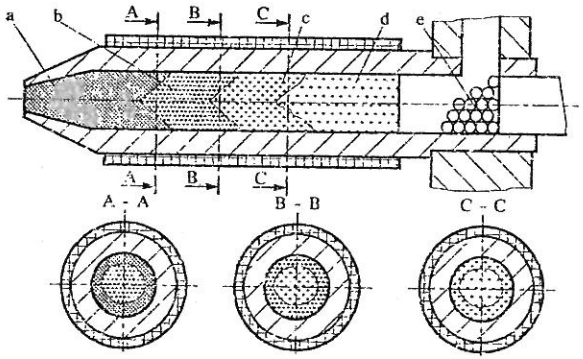


Fig.3.5. Plastifierea materialului în cilindrul maşinii de injectat cu piston:
a - material plastifiat omogenizat; b - material plastifiat neomogenizat;
c - material parţial plastifiat; d - material solid compactizat; e - granule.

îmbunătăţire a transmisiei căldurii de la peretele cilindrului, cu până la 20%, faţă de soluţia prezentată în *fig.3.6.*

Pentru îmbunătăţirea plastifierii în cilindrul de injectare poate fi folosită soluţia constructivă cu torpedoul încălzit (*fig.3.8*). În acest caz torpedoul este format din două bucăţi, *2* şi *8*, astfel încât să permită montarea unui patron de încălzire *9*, în interiorul torpedoului. În acest caz aportul de căldură este mult îmbunătăţit.

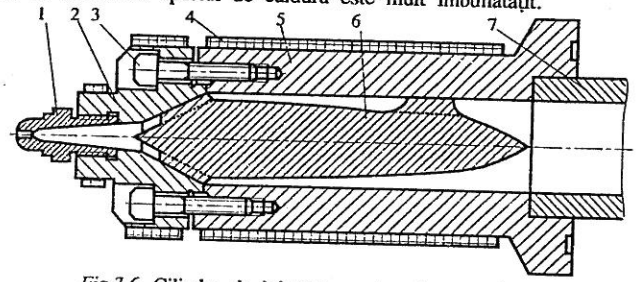


Fig.3.6. Cilindru de injectare cu torpedou cu aripioare:
1 - duză; 2 - ajutaj; 3 - şurub; 4 - corp de încălzire; 5 - cilindru de injectare;
6 - torpedou; 7 - bucşă de legătură.

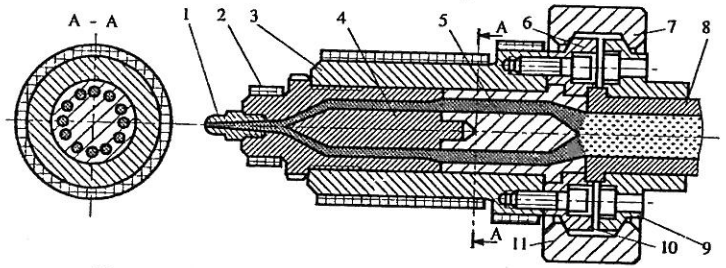


Fig.3.7. Cilindru de injectare cu torpedou cu găuri multiple:
1 - duză; 2 - corp de încălzire; 3 - cilindru de injectare; 4 - semitorpedou; 5 - semitorpedou;
6 - şurub; 7 - semibucşă de fixare; 8 - bucşă de legătură; 9 - flanşă;
10 - flanşă; 11 - semibucşă de fixare.

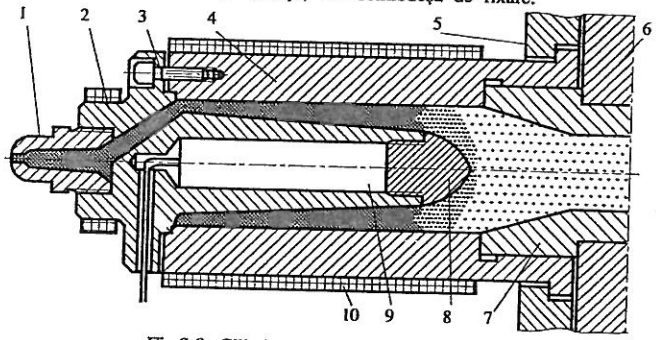


Fig.3.8. Cilindru de injectare cu torpedou încălzit:
1 - duză; 2 - torpedou; 3 - şurub; 4 - cilindru de injectare; 5 - inel de rigidizare; 6 - placă de fixare; 7 - bucşă de centrare; 8 - cap torpedou; 9 - patron de încălzire; 10 - corp de încălzire.

O soluție constructivă interesantă este prezentată în *fig.3.9.* În acest caz cilindrul de injectare *3* prezintă la interior mai multe nervuri de lungime mare. Astfel materialul plastic este separat pe mai multe căi de curgere, flancat fiind de pereții fierbinți ai nervurilor cilindrului. Prin această soluție suprafața de încălzire a materialului plastic este mult mărită.

O soluție de cilindru de injectare cu torpedou, cu posibilități de plastifiere intensivă a materialului termoplastic, este prezentată în *fig.3.10.* În alezajul conic al cilindrului *1* se montează torpedoul *2*, a cărui secțiune de curgere centrală descreşte către capul de injectare. Peretele torpedoului este prevăzut cu un număr mare de orificii radiale prin care curge de la interior la exterior materialul plastifiat. Acest tip de torpedou se recomandă pentru injectarea materialelor termoplastice cu interval restrâns de prelucrare (poliamide).

O intensificare a plastifierii materialului plastic se obține prin creşterea drumului de curgere a materialului plastic. O astfel de soluție constructivă este prezentată în *fig.3.11.* În acest caz cilindrul de injectare este format din trei corpuri *1, 3* și *4* asamblate între ele nedemontabil. În cele trei corpuri ale cilindrului se practică găuri care realizează un drum de curgere prelungit. Pentru aerisirea materialului plastic, în corpul cilindrului *1*, se practică un canal *6* cu diametru mic care face legătura cu camera de intrare a materialului încă neplastifiat.

Duza, sau capul de injectare, este montată în capătul de refulare al cilindrului de injectare. Variante constructive de duze se studiază în cap. 3.2.2.2.

Dispozitive auxiliare. Pâlnia și dispozitivul de dozare servesc la alimentarea mașinii și dozarea cantității de material ce se introduce în fiecare ciclu în cilindrul de injectare. Funcționarea celor mai multe dispozitive folosite la unitățile de injectare cu piston se

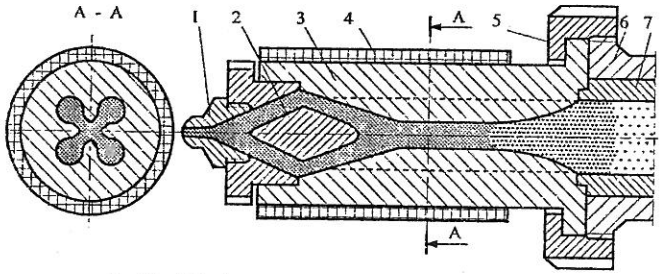


Fig.3.9. Cilindru de injectare cu nervuri interioare:
1 - duză; 2 - torpilă; 3 - cilindru de injectare; 4 - corp de încălzire; 5 - piuliță de fixare; 6 - bucșă de legătură; 7 - bucșă de centrare.

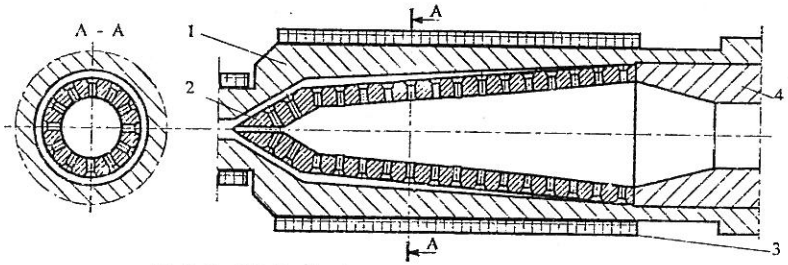


Fig.3.10. Cilindru de injectare cu plastifiere intensivă:
1 - cilindru; 2 - torpedou; 3 - corp de încălzire; 4 - bucșă de centrare.

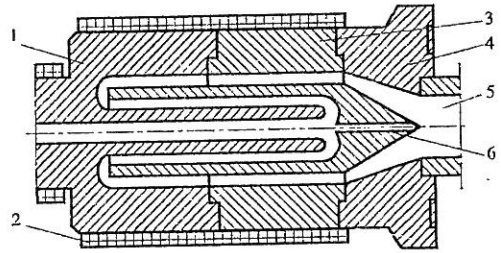


Fig.3.11. Cilindru de injectare cu drum lung de plastifiere:
1 - cilindru anterior; 2 - corp de încălzire; 3 - cilindru mijlociu; 4 - cilindru posterior; 5 - bucșă de centrare; 6 - canal de aerisire.

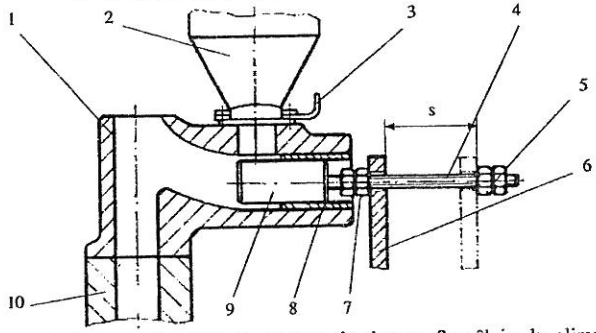


Fig.3.12. Sistem de dozare volumetric: 1 - cameră de dozare; 2 - pâlnie de alimentare; 3 - șiber; 4 - tija de acționare; 5 - piuliță de reglare; 6 - bară de acționare; 7 - piuliță de reglare; 8 - bucșă de ghidare; 9 - piston de dozare; 10 - cilindru.

bazează pe dozarea volumetrică a materialului plastic.

O soluție constructivă pentru un sistem volumetric de dozare este prezentată în *fig.3.12.* Materialul se introduce în pâlnia de alimentare *2*, de unde, prin cădere liberă alimentează camera de dozare *1*. Deschiderea pâlniei de alimentare se realizează cu ajutorul șiberului *3*. În camera de dozare se mișcă un piston *9*, în interiorul bucșei de ghidare 8, prin intermediul tijei de acționare *4*. Pe tija de acționare se găsesc grupul de piulițe de reglare *5* și *7*, care sunt tamponate pe rând de bara de acționare *6*, solidară cu tija pistonului hidraulic de acționare a injectării. Prin reglarea grupului de piulițe *5* pe tija *4* se poate modifica cursa pistonului de dozare *9* și astfel se dozează cantitatea de material ce pătrunde în camera de dozare din pâlnia de alimentare.

Există și alte soluții constructive de sisteme de dozare [1, 4, 11].

3.2.2. Unitatea de injectare cu melc

Principiul injectării, treptele de proces, ciclul de injectare la o mașină de injectat cu melc au fost studiate în detaliu în cap. 2.

Mașina de injectat cu melc, față de cea cu piston, prezintă numeroase avantaje:

- gradul avansat de omogenizare a topiturii;
- datorită dezvoltării de căldură prin efect autogen, diferența de temperatură

dinspre peretele încălzit al cilindrului şi topitură poate fi menţinută în limite care să evite cu totul degradarea termică a materialului, asigurându-se totodată o fluiditate mai mare decât la plastifierea cu piston;

- injectarea se face cu viteze mai mari şi la presiuni de injectare mai mici;
- omogenitatea mai bună a topiturii şi presiunile de injectare mai mici fac ca eforturile unitare remanente în piesele injectate să fie mai mici decât la injectarea cu piston;
- se permite realizarea unor piese injectate de dimensiuni mari.

O unitate de injectare cu melc este prezentată în *fig.3.13.* Din pâlnia de alimentare *7* materialul plastic, prin cădere liberă prin suportul cilindru *8*, ajunge în canalul melcului *3*. Prin rotire şi mişcare axială melcul împinge materialul plastic prin cilindrul *4* spre capătul cilindrului. Cilindrul de injectare *4* şi ajutajul *2* sunt încălziţi de corpurile de încălzire *5*. Mişcarea de rotaţie a melcului este asigurată de un motor hidraulic rotativ *10* şi un reductor cu roţi dinţate *11*. Legătura melcului cu reductorul se realizează prin intermediul cuplajului *9* şi a tijei cu caneluri *12*.

Mişcarea de injectare se realizează prin deplasarea melcului *3* spre duza de injectare *1*, ca urmare a acţionării motorului hidraulic liniar *13*, care prin intermediul tijei *12* şi a cuplajului *9*, transmite mişcarea de translaţie. Suportul cilindrului *8* este fixat solidar cu sania maşinii *14*.

Sania maşinii execută mişcarea de apropiere sau îndepărtare de platoul fix al maşinii cu ajutorul forţei dezvoltate de motorul hidraulic liniar *18*. Acesta are cilindrul fixat solidar cu şasiul *16* al maşinii, iar tija solidară cu sania *14*. Sania *14* se poate roti în jurul pivotului *15* în vederea scoaterii şnecului din cilindru. Suportul *8* este răcit cu apă în zona de fixare a cilindrului cu ajutorul cămăşii de răcire *6*.

Părţile principale ale unei maşini de injectat sunt: duza, ansamblul cilindru-melc, sistemul de acţionare al melcului, sania.

3.2.2.1. Procese în cilindrul maşinii

În momentul de faţă încă nu există o teorie unitară care să descrie în mod calitativ şi cantitativ procesele complicate care intervin în cursul procesului de injectare.

Descrierea procesului de prelucrare prin injectare trebuie să ţină seama de numărul mare de particularităţi specifice materialelor termoplastice. La injectare starea termodinamică şi reologică a unui element de volum de material se schimbă pe parcursul traiectoriei acestuia în canalul melcului. Alimentat ca solid, la ieşire materialul plastic se va prezenta sub formă de topitură vâscoelastică. Elementul de volum de material se va deplasa în canalul melcului, care are caracteristicile geometrice variabile şi trece între suprafeţe (a cilindrului şi a melcului) care nu au o temperatură constantă pe tot parcursul, ceea ce determină varierea parametrilor dinamici (viteza, presiunea).

Din aceste motive traiectoria unui element de volum de material se împarte într-un anumit număr de zone corespunzând fiecărui aspect a procesului termodinamic. Pe baza analizei calitative a procesului de injectare, aspectele injectării se referă la:

- transformările fizice (termodinamice, reologice şi tribologice) suferite de materialul termoplastic în lungul traiectoriei străbătute în cilindrul de injectare;
- dinamica materialului în canalul melcului;
- geometria (forma şi dimensiunile) canalului melcului;
- regimul termic al cilindrului şi al melcului.

Analiza procesului de injectare se face folosind asemănările şi deosebirile cu

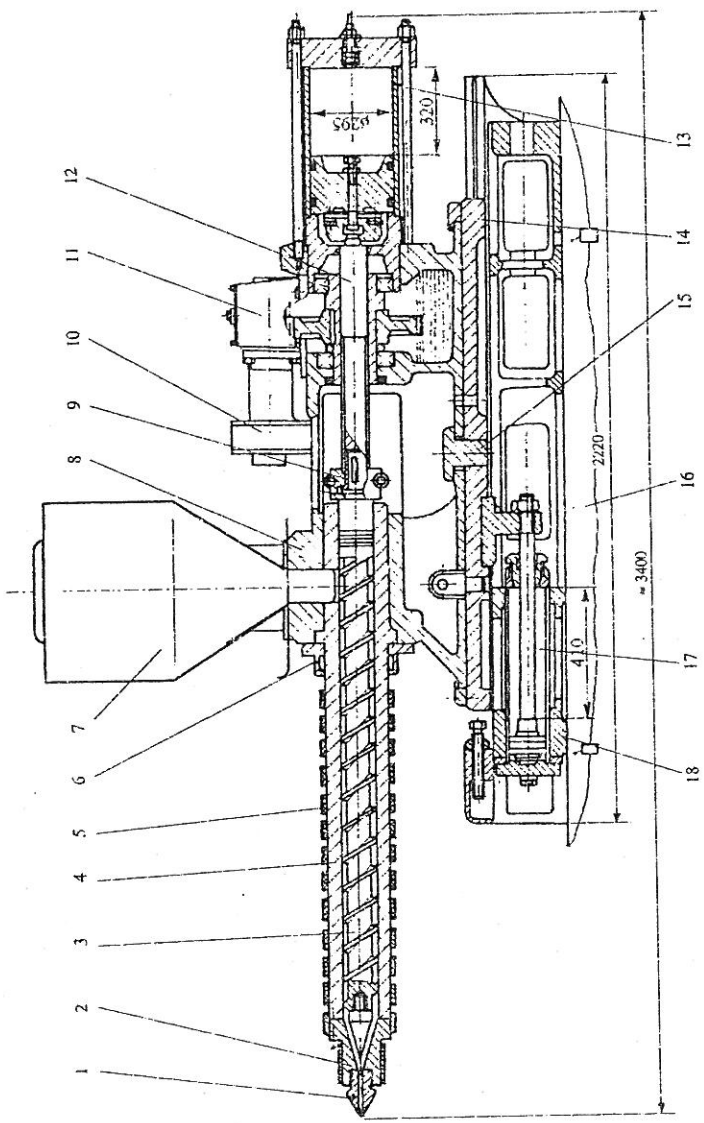


Fig.3.13. Unitate de injectare cu melc: 1 - duză; 2 - ajutaj de capăt; 3 - melc; 4 - cilindru; 5 - corpuri de încălzire; 6 - cămaşă de răcire; 7 - pâlnie de alimentare; 8 - suport cilindru; 9 - cuplaj; 10 - motor hidraulic rotativ; 11 - reductor cu roţi dinţate; 12 - tijă; 13 - motor hidraulic liniar; 14 - sanie; 15 - pivot; 16 - şasiu; 17 - tijă piston; 18 - motor hidraulic liniar.

procesele specifice extrudării. Diferenţele principale în geometria melcilor, la injectare şi extrudere, rezultă din dinamica diferită a lucrului în ambele procese, ceea ce are drept urmare modificări în dimensiunile diferitelor zone de lucru.

Procesul de extrudere are un caracter continuu. După un anumit timp se stabileşte în acest procedeu o stare de echilibru dinamic, caracterizată prin variaţii nu prea mari ale parametrilor de lucru de bază în timp. Valoarea acestor variaţii determină stabilitatea procesului. Studiul procesului de extrudere face obiectul a nenumărate lucrări [2, 22, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40].

Procesul de injectare este un fenomen periodic în care melcul lucrează în condiţii de echilibru care este cu atât mai mare cu cât este mai scurtă durata unui singur ciclu de injectare. Lipsa echilibrului dinamic determină desfăşurarea procesului de topire a materialului termoplastic, modificând mai ales lungimea efectivă a zonei de topire a melcului la injectare în comparaţie cu un melc analog la extrudere.

Melcii folosiţi la prelucrarea prin injectare şi extrudere sunt caracterizaţi printr-o similitudine geometrică relativ mare, rezultând de pe urma similitudinii funcţiilor îndeplinite, adică, de prelucrare şi comprimare a materialului solid din pâlnia de alimentare, topirea şi omogenizarea materialului. Acestor funcţii le corespund trei zone de lucru de bază a melcului, şi anume: alimentarea, topirea şi dozarea. Alegerea optimă a geometriei melcilor se face din ce în ce mai frecvent pentru un anumit material termoplastic şi nu pentru o grupă de materiale. Melcii universali constituie, cu toate că prezintă unele avantaje, o soluţie de compromis.

Studiul procesului de injectare a constituit la rândul lui obiectul a mai multor lucrări [22, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51]. La analiza procesului de injectare apar o serie de variabile independente şi dependente specifice.

Variabilele independente ale procesului reprezintă proprietăţi fizice ale materialului prelucrat: temperatura sa de schimbare de stare sau intervalul de temperatură de schimbare de stare (materiale cristaline sau amorfe), temperatura de injectare, temperatura de degradare termică, proprietăţile tribologice (coeficient de frecare internă sau externă), proprietăţile reologice (vâscozitatea de forfecare, eforturi unitare), caracteristicile termodinamice (densitatea, căldura specifică, coeficientul de conductibilitate termică, coeficientul parţial de transfer de căldură), fracţia de goluri. Valorile acestor variabile independente sunt influenţate de temperatură, presiune, cantitatea şi calitatea plastifianţilor şi lubrefianţilor, coloranţilor, etc. adăugaţi polimerului precum şi de istoria solicitărilor termomecanice.

Variabilele dependente care intervin în procesul de injectare sunt: geometria duzei, geometria capului melcului (clapetă aniretur, etc.), geometria canalului melcului (adâncime, lungimile zonelor, raport de compresie), elemente de dinamica materialului (viteza periferică a melcului, profilul vitezelor, variaţia presiunii materialului în lungul melcului, variaţia presiunii la injectare), debitul, căderea presiunii în duză, elemente de termomecanica materialului prelucrat (curba de variaţie a temperaturii în lungul melcului, cantitatea de căldură rezultată prin frecare internă şi externă), elemente ale regimului termic (valoarea temperaturii în fiecare zonă termică a cilindrului şi în zona duzei de injectare), calitatea produsului (starea suprafeţei, caracteristici fizico-mecanice, etc.).

Unei maşini de injectat îi revine în principal două sarcini:

- plastifierea şi dozarea;
- injectarea.

Un studiu al plastifierii ca treaptă de proces a tehnologiei injectării a fost prezentată în cap. 2.2.2. În cele ce urmează se va aprofunda studiul procesului injectării în cilindrul maşinii de injectat. Modul de lucru ciclic al unităţilor de plastifiere - injectare cu melc se deosebeşte de cel staţionar, caracteristic procesului extrudării, prin aceea

că melcul se mişcă în lungul axei sale, şi că între două perioade de plastifiere el staţionează o perioadă în timp ce piesa injectată se răceşte în matriţă.

3.2.2.1.1. Plastifierea

În faza de plastifiere (dozare) unitatea de injectare lucrează ca un extruder, melcul retrăgându-se simultan cu rotaţia. Ca urmare, materialul este dozat spre vârful melcului, acumulându-se în capul cilindrului. Analiza plastifierii în cadrul procesului de injectare se face pornind de la rezultatele obţinute în procesul de extrudere [2, 22, 36, 38, 39, 40].

Un melc al unei maşini de injectat poate fi împărţit în trei zone funcţionale (*fig.3.14*):

- zona de alimentare;
- zona de tranziţie;
- zona de dozare.

Din punct de vedere al transformărilor fizice ale materialului termoplastic lungimea canalului de injectare se poate împărţi pe zone reologice. Pe măsura înaintării în canalul melcului starea reologică a materialului se schimbă. Se disting mai multe zone [34, 37] (*fig.3.15*).

În zona pâlniei de alimentare, zona z_1, materialul plastic se comportă ca un mediu necoeziv, comportarea acestor tipuri de materiale fiind descrisă în cap. 1.2.1.

În zona z_2 materialul termoplastic sub formă de particule se înmoaie superficial, comportarea lui fiind de mediu coeziv.

În zona z_3 materialul termoplastic are o comportare de suspensie cu concentraţia fazei solide variabilă. În această zonă are loc tranziţia materialului de la faza solidă la faza de topitură. Comportarea materialului în această zonă este aceea a unui fluid vâscoplastic.

În zona z_4 materialul se află în stare de topitură. Comportarea reologică a topiturii este după caz: fluid vâscos nenewtonian, fluid vâscoelastic sau fluid vâscoplastic.

Pentru studiul curgerii materialului în cursul procesului de plastifiere se consideră

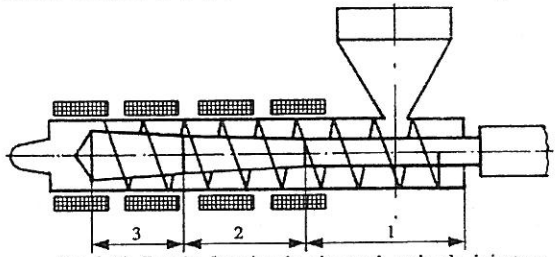


Fig.3.14. Zonele funcţionale ale unui melc de injectare:
1 - zona de alimentare; 2 - zona de topire; 3 - zona de dozare.

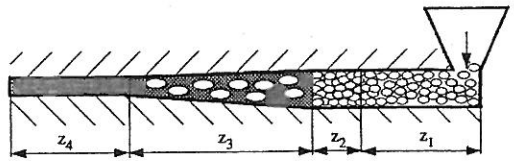


Fig.3.15. Zonele canalului melcului în funcţie de starea reologică a materialului:
z_1... z_4 - zone reologice.

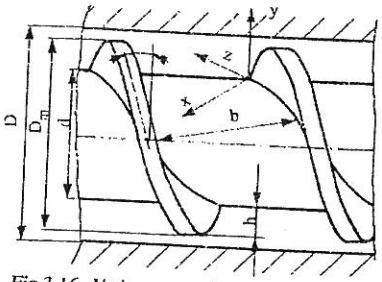


Fig.3.16. Vedere a unei zone a melcului.

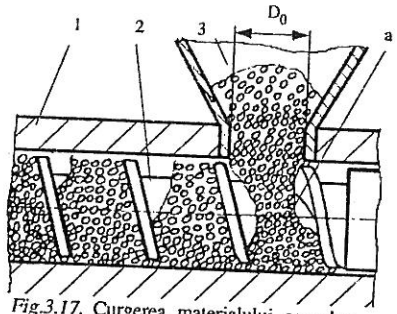


Fig.3.17. Curgerea materialului granular în zona de alimentare: a - material; 1 - cilindru; 2 - melc; 3 - pâlnia de alimentare.

melcul din *fig.3.16*. Pentru abordarea fenomenelor de curgere se consideră canalul drept desfăşurat de pe miezul melcului (diametrul *d*).

3.2.2.1.1.1. Curgerea materialului în canalul melcului în zona de alimentare

Maşina de injectat se alimentează prin pâlnia de alimentare cu materiale solide sub formă de granule sau pulbere. Zona de alimentare a melcului are rolul de a transporta granulele de material de la orificiul de alimentare în zona de topire (*fig.3.17*).

Materialul solid umple canalul melcului, este compactat şi deplasat în lungul acestuia. Deplasarea are loc sub formă de piston şi este cauzată de forţele de frecare exercitate de cilindru şi melc asupra materialului. Transportul materialelor granulare cu densitate volumică mare, ce curg uşor, nu prezintă dificultăţi. În schimb, materialele pulverulente, cu densitate mică şi unghi de taluz mare, creează mari probleme în ceea ce priveşte alimentarea continuă a maşinii de injectat. Se consideră că materialul în zona canalului melcului formează un piston elastic ce se deplasează de la alimentare spre zona de compresie.

Aprecierea cantitativă a presiunii şi temperaturii în zona de alimentare este o sarcină dificilă, deoarece aceşti parametri depind unul de altul. Un studiu primar al acestora s-a făcut în cap. 1.2.1. La acest fel de calcule trebuie să se ţină seama de distribuţia izotropică a tensiunilor în materialul solid, precum şi de dependenţa coeficientului de frecare faţă de temperatură.

Ecuaţia, încă cea mai mult utilizată, pentru descrierea comportării reologice a materialelor granulare şi pulverulente, este ecuaţia lui Coulomb [43]

$$\tau_n = k + \sigma_n \cdot tg\,\varphi\,, \tag{3.1}$$

unde:

- τ_n - efortul unitar tangenţial care determină alunecarea relativă a particulelor după un plan având normala *n*;
- σ_n - presiunea sau efortul unitar normal de compresie pe direcţia normală *n*;
- k - coeficient de aderenţă, expresie a coeziunii tangenţiale a particulelor;
- φ - unghiul frecării interne în mediu necoeziv.

Ecuaţia *3.1* exprimă condiţia de echilibru a unui mediu necoeziv. Mediul necoeziv este mediul format din porţiunile omogene rigide, între care există frecare şi o foarte mică aderenţă.

Debitul de material în pâlnia de alimentare. Pentru a determina debitul curgerii prin pâlnia de alimentare a maşinii de injectat se foloseşte relaţia

$$Q_m = \frac{\pi}{4}\left[\frac{g}{2f}\left(1 + 3f^2\right)\right]^{0,5} \cdot \rho_v \cdot D_0^{2,5}\,, \tag{3.2}$$

unde:

- g - acceleraţia gravitaţională (g = 9,81 m/s^{-2});
- f - coeficientul frecării interioare a materialului granular necoeziv;
- ρ_v - densitatea în vrac;
- D_0 - diametrul orificiului interior al pâlniei de alimentare.

Presiunea în zona de alimentare. În mediul granular sau pulverulent, considerând canalul drept desfăşurat, presiunea p_z în lungul canalului este dată de relaţia

$$p_z = p_{z_0} \cdot e^{-b_p \cdot z}\,, \tag{3.3}$$

unde:

- p_z - presiunea la distanţa z de suprafaţa de apăsare iniţială a pistonului granular;
- p_{z_0} - presiunea iniţială;
- b_p - constantă de material dependentă de presiune şi temperatură.

Relaţia (3.3) se poate explicita

$$p_z = p_{z_0} \cdot e^{-\frac{2f \cdot k_p \cdot z}{r_{ech}}}\,, \tag{3.4}$$

unde:

- f - coeficientul de frecare internă între granule;
- k_p - coeficientul transmiterii laterale a presiunii; coeficientul k_p este funcţie de presiune şi temperatură;
- r_{ech} - raza echivalentă a secţiunii transversale considerate.

Raza echivalentă a unui canal cu secţiune dreptunghiulară b şi înălţime h se calculează cu relaţia

$$r_{ech} = \frac{bh}{H + b}\,. \tag{3.5}$$

Presiunea exterioară a pistonului granular acţionează pe direcţia z cu valoarea p_z, dar în acelaşi punct, pe direcţia y transmiţând presiunea

$$p_y = k_p \cdot p_z\,, \tag{3.6}$$

unde:

- k_p - coeficientul transmiterii laterale a presiunii.

În general k_p poate fi calculat aproximativ cu relaţia

$$k_p = 1 - sin\varphi\,, \tag{3.7}$$

unde:

- φ - unghiul frecării interne a materialului granular sau pulverulent.

Şi temperatura are o creştere aproape exponenţială pe lungimea zonei de alimentare indiferent de geometria zonei şi caracteristicile de frecare ale materialului granular.

Debitul de material în zona de alimentare. Din punct de vedere constructiv zona de alimentare determină debitul maxim. Optimizarea zonei de alimentare determină un debit care trebuie să fie preluat de toate zonele următoare.

Pentru calculul debitului în zona de alimentare (*fig.3.18*) se poate folosi relaţia

$$Q_a = 0,5\left(k_G\,\rho_v\right)\left(E\,i_b\,D\,b_1\,h_1\right)\omega\,, \tag{3.8}$$

unde:

- k_G - factor de debit;
- ρ_v - densitatea în vrac a materialului;
- E - factor;

- D - diametrul interior al cilindrului;
- b_1 - lăţimea medie a canalului în zona de alimentare;
- ω - viteza unghiulară a melcului;
- i_b - numărul de începuturi a melcului.

Factorul de debit se poate calcula cu relaţia

$$k_G = k_1 \cdot k_2, \tag{3.9}$$

unde:

- k_1 - coeficient de alunecare al materialului în raport cu suprafaţa melcului. El rămâne în esenţă unghiul dintre planul perpendicular pe axa melcului şi direcţia deplasării materialului.
- k_2 - coeficient ce depinde de forma profilului de viteză al ansamblului granular.

În lucrarea [44] se dau relaţii pentru k_1 şi k_2.

Factorul E se calculează cu relaţia

$$E = 1 - \frac{h_1}{D}. \tag{3.10}$$

Lăţimea medie a canalului se calculează cu relaţia

$$b_1 = \frac{\pi(D - h_1)\sin\bar{\varphi}}{i_b}, \tag{3.11}$$

unde:

- $\bar{\varphi} = arc\,tg\dfrac{t}{\pi(D - h_1)}$; (3.12)
- t - pasul spirei elicoidale.

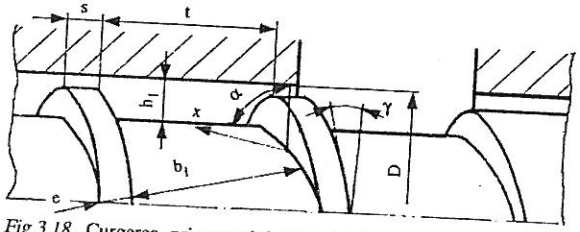


Fig.3.18. Curgerea prin canalul melcului în zona de alimentare.

3.2.2.1.1.2. Curgerea materialului în zona de tranziţie

În zona de tranziţie sau compresie are loc încălzirea şi topirea materialului. Căldura este primită prin conducţie şi convecţie termică de la peretele cilindrului maşinii de injectat. Capacitatea de topire depinde de conductivitatea termică a materialului, de suprafaţa cilindrului şi de condiţiile de curgere din canalul melcului. Cantitatea de căldură transmisă masei de granule este direct proporţională cu suprafaţa cilindrului care constituie unul din principalii factori ce limitează productivitatea maşinii. O parte din căldura necesară pentru topirea materialului este generată din masa materialului, prin disiparea energiei mecanice ca urmare a puterii de rotire a melcului. Există câteva regimuri termice posibile întâlnite la injectare (*fig.3.19*).

Model fizic al zonei de tranziţie. Mecanismul topirii în canalele cu variaţii mari de temperatură pe înălţime pentru materialul termoplastic, care aderă la peretele încălzit al cilindrului, este prezentat în *fig.3.20*.

În zona de tranziţie se disting patru domenii:

- un film de topitură de grosime redusă, format pe suprafaţa cilindrului încălzit şi aderând la acesta, măturat continuu de vârful spirelor (zona *a*);
- o cantitate de topitură care creşte de la spira la spiră, antrenată în mişcare turbionară, care se întinde de la miezul melcului până la cilindru, şi se află pe partea opusă capului de injectare (zona *b*);
- un domeniu de tranziţie care alimentează zona *b* cu granule ce se înmoaie; materialul din acest domeniu se deplasează de la miez spre suprafaţa interioară a cilindrului (zona *c*);
- un domeniu adiacent spirei dinspre partea de alimentare, conţinând granule solide, care se mişcă după legile valabile pentru corpurile solide-granulare (zona *d*).

În zona de tranziţie, cu cât se avansează spre capul de injectare, volumul zonei de topitură *b*, creşte în detrimentul volumului zonei granulare *c*. Procesul continuă până la topirea completă a granulelor.

Starea reologică a materialului în zona de tranziţie (topire) cuprinde, ca pe nişte cazuri particulare, stările reologice ale materialului în zona de alimentare şi cea de topire. Din acest motiv, studiul termomecanicii procesului care are loc în canalul melcului se reduce de fapt la studiul termomecanicii zonei de tranziţie.

Termomecanica zonei de tranziţie. Din punct de vedere al dinamicii materialului, la un melc se disting două feluri de zone (*fig.3.21*):

- prima zonă dinamică z_{p1}; aici se generează presiunea necesară plastifierii prin antrenarea materialului de către melc;
- a doua zonă dinamică z_{p2}; aici se realizează omogenizarea topiturii iar presiunea topiturii scade. Aici se consumă energie şi presiune.

Deplasarea materialului în canalul melcului se va face după o anumită traiectorie (*fig.3.22*). În timpul unei rotaţii a melcului, în absenţa frecării de pe suprafaţa melcului şi în cazul în care curgerea de antrenare este nulă, un punct material A se va deplasa perpendicular pe spira melcului până în punctul B. El nu se deplasează până în punctul A' situat pe aceeaşi generatoare, deoarece pentru a parcurge distanţa AA' în timpul unei rotaţii, ar fi necesar ca viteza în lungul elicei să fie mai mare decât viteza circulară. Întrucât viteza materialului în prima zonă dinamică z_{p1}, nu poate fi mai mare decât viteza melcului, un element de volum de material va ajunge în punctul B, în urma unei rotaţii, la curgerea fără frecare şi fără dezvoltare de presiune. În cazul în care există curgere de antrenare, datorită frecării dintre material şi suprafeţele melcului şi ale cilindrului, are loc alunecarea materialului în raport cu melcul. Materialul

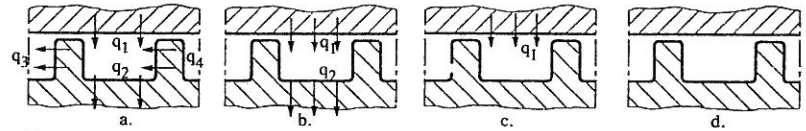


Fig.3.19. Repartiţia posibilă a fluxurilor de căldură în secţiune transversală a melcului: $q_1 \ldots q_4$ - fluxuri de temperatură; a, b, c, d - variante.

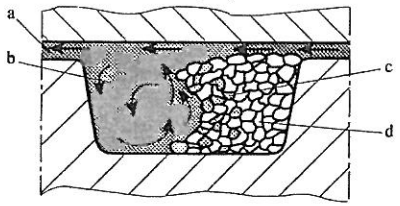


Fig.3.20. Model fizic pentru materialul termoplastic în spira melcului pentru zona de tranziţie:
a - film de topitură; b - topitură;
c - granule în topitură; d - granule solide.

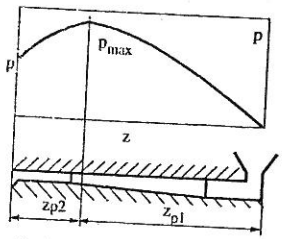


Fig.3.21. Variaţia presiunii materialului termoplastic în lungul canalului elicoidal al melcului.

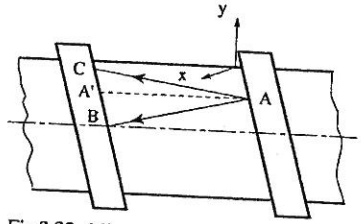


Fig.3.22. Mişcarea unei particule materiale în canalul melcului.

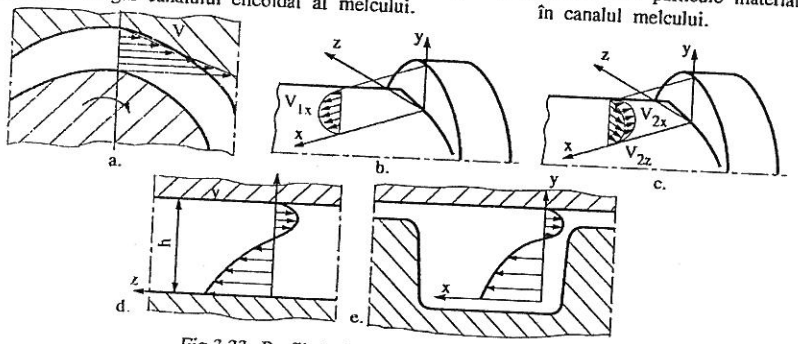


Fig.3.23. Profilul vitezelor în canalul melcului:
a - la antrenarea prin rotaţie a melcului; b - la împingerea realizată de spira melcului; c - rezistenţa opusă de straturile următoare de material; d - profilul rezultant al vitezei în canalul longitudinal *z*; e - profilul rezultant al vitezei în canalul transversal *y*.

rămâne în urmă, astfel încât traiectoria reală parcursă va fi *AC*.

În zona de tranziţie, înaintea secţiunii de presiune maximă, asupra materialului acţionează mai multe forţe (*fig.3.23*).

Tangent la suprafaţa miezului melcului acţionează o forţă de antrenare datorită rotaţiei melcului cu tendinţa de a supune materialul unei mişcări de tip Couette (*fig.3.23.a*).

Perpendicular pe suprafaţa spirei elicoidale acţionează presiunea generată de mişcarea acestuia, cu tendinţa de a supune materialul unei curgeri de tip Poiseuille (*fig.3.23.b*).

Rezistenţa opusă deplasării de straturile de material care urmează, generează o forţă care cu efectul unei presiuni ce acţionează în sens contrar deplasării (curgere inversă de tip Poiseuille) (*fig.3.23.c*).

Prin compunerea vectorilor viteză determinaţi de factori externi, se obţine profilul real al vitezelor sub forma unei curbe în spaţiu (*fig.3.23.d-e*). Calcule în ceea ce priveşte presiunea, căderea de presiune, debitul, fac obiectul altor lucrări de specialitate.

3.2.2.1.1.3. Curgerea materialului în canalul melcului în zona de dozare

Pentru studiul procesului de plastifiere în zona de dozare s-au elaborat mai multe lucrări [41, 42, 44]. Procesele de curgere în canalul melcului în zona de tranziţie, studiate în capitolul anterior, au sferă de aplicabilitate şi în această zonă.

În zona de dozare, materialul topit deja în zona anterioară, este omogenizat intens şi dozat în faţa capului melcului. În această zonă, în lungul canalului elicoidal, presiunea scade (*fig.3.21*). În zona de dozare materialul termoplastic este împins pe direcţia *z* a

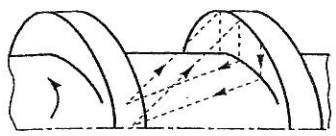


Fig.3.24. Traiectoria unei particule de material în canalul melcului în zona de dozare.

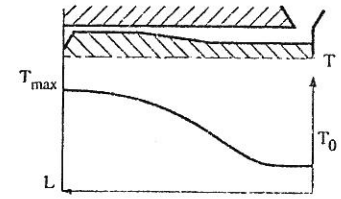


Fig.3.25. Variaţia temperaturii materialului în lungul axei melcului pentru un melc convenţional.

canalului, datorită efectului de pompă a secţiunii, şi este deplasat pe direcţia *x* a canalului datorită acţiunii spirei melcului. Datorită acestor două acţiuni combinate, materialul se deplasează pe o traiectorie elicoidală proprie, ceea ce contribuie la omogenizarea topiturii (*fig.3.24*).

În zona de dozare, în lungul axei melcului, temperatura medie a materialului creşte de la temperatura T_0 la temperatura maximă T_{max} (*fig.3.25*).

3.2.2.1.2. Injectarea

În faza de injectare (pompare şi presiune ulterioară) unitatea de injectare lucrează ca un cilindru cu piston. Melcul execută o mişcare de avans axială pompând cu presiune materialul plastic prin duza maşinii în matriţă. Studiul umplerii şi compactizării materialului plastic în matriţă a fost studiat în cap. 2.

Pentru realizarea unei piese injectate de calitate (calitate suprafaţă, precizie dimensională, etc.) este necesar să se respecte anumiţi parametrii, influenţa acestora asupra piesei injectate va fi studiată în cap. 5.3.3.

Noţiuni de bază. Pentru definirea noţiunilor de bază se consideră unitatea de injectare a unei maşini de injectat (*fig.3.26*). În mişcarea sa de avans, în vederea pompării materialului, melcul execută cursa de injectare S_i. Volumul de injectare teoretic V_{it} poate fi determinat în acest caz cu formula

$$V_{it} = \frac{\pi d^2 S_i}{4}, \qquad (3.13)$$

unde:
- d - diametrul melcului;
- S_i - cursa de injectare.

În cursa sa melcul nu atinge capătul cilindrului de injectare, în capătul cilindrului de injectare rămânând o cantitate reziduală de material. Corespunzător volumului rezidual de material, este necesară cursa de injectare reziduală S_r

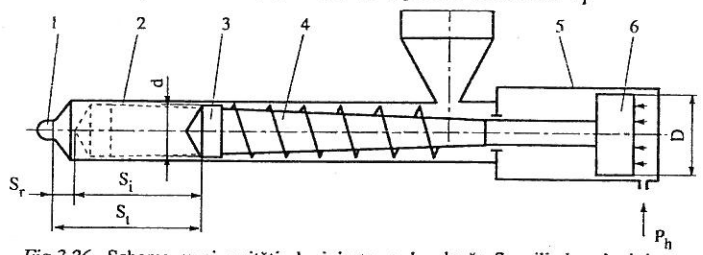


Fig.3.26. Schema unei unităţi de injectare: 1 - duză; 2 - cilindru de injectare; 3 - clapetă antiretur; 4 - melc; 5 - cilindru hidraulic; 6 - piston.

Volumul efectiv de material injectat V_{ie} este mai mic decât volumul teoretic de injectare V_{it}. Acesta se calculează cu formula

unde:
$$V_{ie} = f\, V_{ti}\,, \qquad (3.14)$$

- f - factor de corecţie ce depinde de forma şi dimensiunile produselor, mărime culeei; are valoarea $f = 0{,}6...0{,}9$.

Forţa de injectare este forţa exercitată de melc ca urmare a presiunii hidraulice din cilindrul hidraulic de injectare. Se calculează cu formula

unde:
$$F_i = A_h\, p_h\,, \qquad (3.15)$$

- A_h - suprafaţa pistonului hidraulic pe care se exercită presiunea;
- p_h - presiunea hidraulică la injectare.

Pentru cazul din din *fig.3.26* forţa de injectare se poate scrie

$$F_i = \frac{\pi d^2}{4}\, p_h\,. \qquad (3.16)$$

Presiunea exterioară (presiunea din cilindrul de injectare în faţa pistonului) se poate calcula cu formula

unde:
$$p_e = \frac{F_i}{A_p}\,, \qquad (3.17)$$

- F_i - forţa de injectare;
- A_p - aria pistonului de injectare.

Fenomene la curgerea materialului în cilindru. Fenomenul de umplere a cavităţii matriţei, precum şi calitatea piesei injectate, este influenţată direct de fenomenul de curgere a materialului plastic în cilindrul maşinii de injectat în timpul fazei de injectare. Se consideră curgerea în cilindru ca fiind laminară. Cei mai importanţi parametrii, cu influenţă hotărâtoare asupra piesei injectate, sunt presiunea de injectare şi viteza de injectare.

Pentru studiul fenomenului de injectare se pot considera profilele de presiune simplificate pentru întregul proces (*fig.3.27*). Se observă că la atingerea presiunii de injectare teoretice maxime $p_{i\ max}$, presiunea materialului plastic la intrarea în matriţă p_m creşte în continuare.

În afară de aceasta, evoluţia măsurată a presiunii în timp, conform *fig.3.28*, prezintă deviaţii faţă de evoluţia teoretică, în funcţie de viteza de injectare şi caracteristica rezistenţelor de presiune.

În funcţie de vâscozitatea şi geometria reperului, pentru fiecare caz practic se poate găsi o viteză de injectare optimă. Viteza de injectare aleasă trebuie menţinută cât mai constantă de la ciclu la ciclu. Pentru a obţine aceeaşi viteză de injectare, la concepţii diferite ale reperelor şi canalelor de injecţie, trebuie să se lucreze cu valori diferite ale presiunii de injecţie. Viteza frontului de curgere rămâne constantă numai dacă presiunea de injectare se poate adapta la rezistenţa la curgere variabilă. Aceasta este posibil numai în cazul în care maşina dispune de o capacitate de injectare suficientă, care se obţine prin acumulatoare de presiune sau putere instalată mare. Dacă maşina are o capacitate de injectare insuficientă, atunci viteza de injectare este limitată de rezistenţa de curgere.

Viteza frontului de curgere nu se mai poate menţine constantă, ea se micşorează în mod corespunzător. La începutul procesului de injectare trebuie să existe posibilitatea la maşină de a regla viteza de injectare lentă astfel încât, prin curgerea topiturii să fie evitat fenomenul de jet liber. După aceea injectarea trebuie făcută rapid. Trebuie să existe deasemenea posibilitatea de a reduce viteza de injectare cu puţin înainte de umplerea matriţei pentru a evita cuplarea presiunii ulterioare, formarea unui vârf de presiune şi o supraîncărcare a piesei injectate.

3.2.2.2. Duza

Duza este ajutajul din capul cilindrului de injectare prin care materialul plastic trece din cilindru în matriţa de injectat. În timpul operaţiei de injectare duza maşinii este presată cu forţă pe duza matriţei de injectat astfel încât să se realizeze o bună etanşare. După faza de compactizare duza maşinii se retrage de pe duza matriţei ca urmare a retragerii mesei maşinii; acest lucru este necesar pentru a împiedica solidificarea materialului plastifiat în canalul duzei. Datorită solicitărilor de natură mecanică cât şi termică duza maşinii se construieşte din oţeluri rezistente la temperatură şi cu rezistenţă mecanică la compresiune între 120...150 daN/mm^2. Diametrul canalului de curgere în duză este în corespondenţă cu masa piesei injectate. În general duzele se fixează în cilindru în cele mai multe cazuri prin filet şi foarte rar prin profil baionetă.

După modul de contact cu duza matriţei, duzele pot fi convexe sau plane (*fig.3.29*). În practică cele mai folosite sunt duzele convexe cu suprafaţă sferică care se sprijină pe duzele matriţei cu suprafaţă concavă sferică (*fig.3.29.a*). Între diametrele canalelor şi razele suprafeţelor de aşezare ale duzei matriţei şi duzei maşinii există diferenţe (cap.6). Duzele plane sunt folosite în practică mai puţin, fiind mai dezavantajoase decât duzele convexe.

Duzele se împart în două grupe mari: duze deschise şi duze închise.

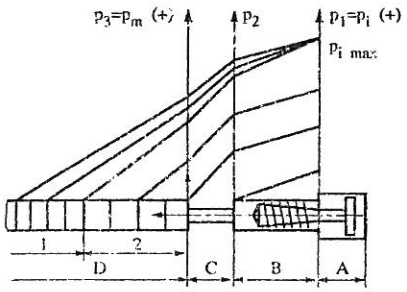


Fig.3.27. Profile liniare simplificate în procesul de umplere: A - presiune hidraulică; B - melc, cilindru; C - duză, canale de distribuţie, dig; D - matriţă; 1 - presiune constantă; 2 - volum constant; t - timp de trecere de la regimul de deplasare 1 la regimul de umplere 2; p_m - presiunea materialului plastic la intrarea în matriţă; p_i - presiunea de injectare teoretică.

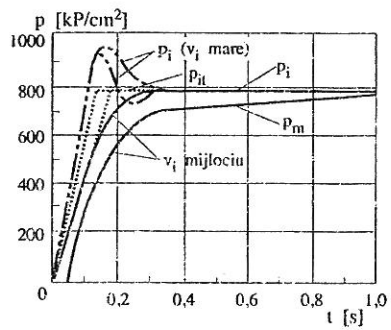


Fig.3.28. Variaţia presiunii hidraulice teoretice şi măsurate, precum şi a presiunii materialelor la intrarea în matriţă în timpul procesului de umplere: p_i - presiune de injectare (presiune hidraulică); p_{it} - presiunea de injectare teoretică; v_i - viteza de injectare; p_m - presiunea masei de material la intrarea în matriţă.

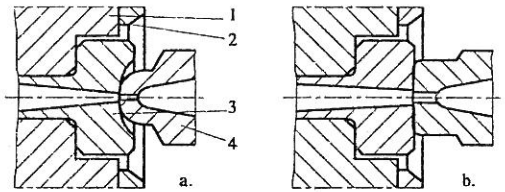


Fig.3.29. Duze convexe şi duze plane: a - duză convexă; b - duză plană; 1 - placă de prindere matriţă; 2 - inel de centrare; 3 - duză matriţă; 4 - duză maşină.

3.2.2.2.1. Duze deschise

Construcţia unei duze depinde de materialul care se injectează. Duzele deschise se utilizează la materialele cu vâscozitate mai ridicată. Există mai multe variante constructive de duze deschise [1, 2, 4, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Duze convexe simple. Sunt duze cu calea de curgere liberă. Ele pot avea gaură interioară conică lungă (*fig.3.30.a*) sau cale liberă cilindrică cu prag (*fig.3.30.b*). În cazul al doilea lungimea pragului nu trebuie să fie mai mare de 3...4 mm, pentru a nu mări prea mult rezistenţa la curgere a materialului plastic.

Duze pentru antecameră. Pentru matriţele de injectat cu injectare punctiformă cu antecameră se folosesc construcţii de tipul celei prezentate în *fig.3.31.* În capul duzei suport *2* se montează prin înşurubare o duză punctiformă dintr-un material bun conducător de căldură (Be-Cu). Duza *1* pătrunde într-o antecameră, etanşeitatea camerei realizându-se pe suprafaţa sferică între antecameră şi duza suport *2* (cap.6.3.3.). Pentru uşurarea extragerii dopului de material plastic, ce se formează în antecameră în jurul duzei punctiforme, aceasta este prevăzută cu degajări pe suprafaţa exterioară.

Duze cu amestecare. Duzele cu amestecare se folosesc mai ales la maşinile de injectat cu piston, atunci când se realizează vopsirea materialului plastic în maşină. Prin plasarea unei plăci găurite, materialul plastic este divizat şi forţat să formeze curenţi turbionari realizând prin aceasta o mai bună distribuţie a pigmentului în masa de material (*fig.3.32*). La construcţia acestor duze trebuie să se ţină seama de numărul şi diametrul canalelor practicate în plăcile găurite datorită rezistenţelor hidraulice mari care se nasc.

Pentru cilindrii de lucru scurţi şi cicluri rapide se folosesc la maşinile moderne duze speciale cu elemente de amestecare statică [1].

Duze cu încălzire interioară. Este esenţial ca la contactul cu duza matriţei de injectat, duza maşinii să piardă cât mai puţină căldură. În cazul în care duza se răceşte, materialul plastic se întăreşte formând un dop şi injectarea nu mai este posibilă. De aceea în unele cazuri este necesară încălzirea duzei (*fig.3.33*). Pentru încălzire se folosesc patroane de încălzire. Încălzirea şi reglarea automată a temperaturii se realizează prin termoregulator separat de cilindrul de injectare.

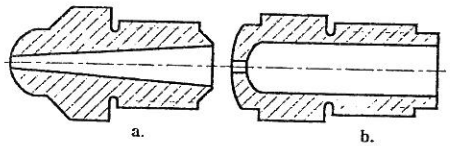


Fig.3.30. Duze simple convexe:
a, b - forme constructive.

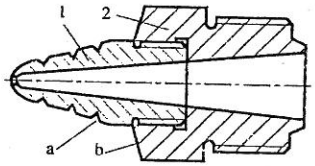


Fig.3.31. Duză pentru antecameră:
1 - duză punctiformă; 2 - duză suport;
a - degajare; b - suprafaţă sferică.

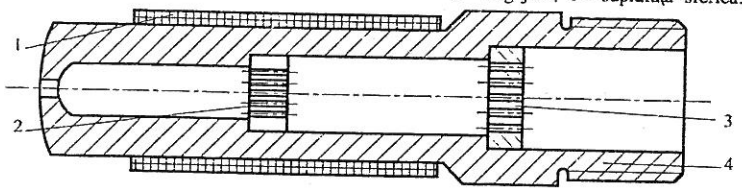


Fig.3.32. Duză cu amestecare:
1 - corp de încălzire; 2 - placă cu găuri; 3 - placă cu găuri; 4 - corp duză.

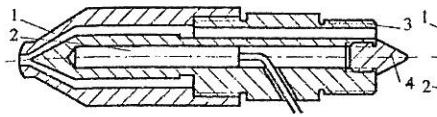


Fig.3.33. Duză cu încălzire:
1 - corp duză; 2 - patron de încălzire;
3 - duză suport; 4 - dop de închidere.

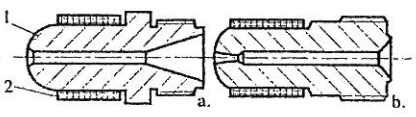


Fig.3.34. Duze pentru materiale cu vâscozitate mică:
a, b - variante constructive;
1 - duză; 2 - corp de încălzire.

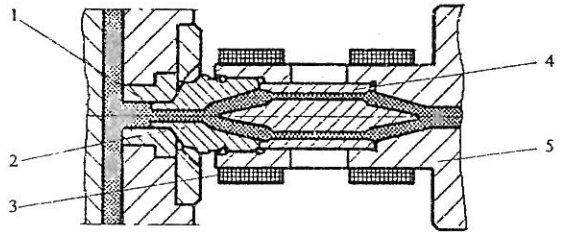


Fig.3.35. Duză deschisă pentru matriţă cu canale calde şi canale izolate:
1 - duză matriţă; 2 - cap duză maşină; 3 - corp de încălzire; 4 - corp duză; 5 - ajutaj cilindru.

Duze pentru termoplaste cu vâscozitate mică. Sunt folosite la prelucrarea termoplastelor cu tendinţe de cristalizare (poliamida). Aceste materiale au puncte de topire ridicate, pe paliere înguste, astfel că între injectări materialul are tendinţa de solidificare chiar la o pierdere mică de căldură. Pe suprafaţa duzei se montează corpuri de încălzire care menţin temperatura constantă (*fig.3.34*).

Duze pentru matriţe cu canale izolate şi canale încălzite. În ultimii ani a luat o mare răspândire sistemul cu canale izolate (cap.6.3.8) şi sistemul cu canale încălzite (cap.6.3.9).

Pentru aceste sisteme de injectare sunt folosite duze speciale la maşina de injectat, duze care să asigure un flux permanent de material topit. O astfel de duză este prezentată în *fig.3.35.* Materialul plastic topit injectat din cilindrul de injectare pătrunde prin ajutajul *5*, corpul duzei *4*, capul duzei *2* şi prin duza matriţei *1* în canalul de diametru mare al matriţei de injectat. Corpul *4* al duzei maşinii este astfel construit încât are practicate la interior mai multe găuri plasate pe un cerc prin care curge materialul plastic. Menţinerea temperaturii de topire a materialului se realizează cu ajutorul corpurilor de încălzire *3*.

3.2.2.2.2. Duze cu închidere

Există o gamă variată de materiale plastice, mai ales cele cu vâscozitate mică, care implică greutăţi la injectarea cu duze deschise. O fluiditate mare la prelucrarea cu duze deschise determină scurgeri de material imediat după îndepărtarea duzei maşinii de duza matriţei. Pierderea de material din cilindru micşorează volumul injectării următoare. În acest caz se folosesc duzele cu închidere care obturează calea de curgere între injectări. Există mai multe soluţii constructive de duze cu închidere [1, 2, 4, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 15].

Duze comandate de matriţă. În *fig.3.36* este prezentată o variantă constructivă de duză cu închidere. În prima fază materialul plastic injectat sub presiune trece prin canalele de injectare *x* spre matriţă ca urmare a presării capului duzei *2* pe duza *1* a matriţei de injectat. După compactizare, masa maşinii se retrage, capul duzei *2* se îndepărtează de duza *1* a matriţei de injectat. Materialul plastic dozat în cilindru exercită presiune pe capul conic al miezului *4* şi ansamblul solidar *2* şi *4* execută o mişcare

de avans determinând închiderea canalelor de curgere. Astfel duza se închide. Duzele de acest tip au dezavantajul de a nu putea injecta material plastic în gol (la reglaje, schimbări de material, etc.).

Dezavantajul semnalat anterior este înlăturat de construcția din *fig.3.37.* În poziție pentru injectare în gol duza se află în poziția din figură. În acest caz materialul plastic injectat trece prin degajarea *a* a miezului *2*, în camera de legătură *d*, canalul înclinat *b* și canalul central *c*, spre capul de injectare *1*. Poziția miezului este asigurată de bilele de poziționare *5* sub influența arcurilor *4*. Pentru a trece la poziția duzei cu închidere se rotește la 90° cu cheia capul duzei *1*, care fiind solidar cu miezul *2*, se rotește și acesta. Bilele de poziționare *5* indexează și această poziție. În această poziție degajările *d* nu mai au legătură cu canalele *b*. În această poziție duza funcționează ca și cea din *fig.3.36.* Astfel, la apăsarea capului *1* al duzei pe duza matriței, drumul spre injectare va fi deschis. La îndepărtarea duzei mașinii de duza matriței presiunea materialului din cilindru determină închiderea duzei.

O soluție constructivă din aceeași categorie este prezentată în *fig.3.38.* După închiderea matriței, masa mașinii presează capul duzei *1* pe duza matriței, forța arcului taler *2* este învinsă, capul duzei execută o mișcare înapoi și materialul plastic din cilindru are drum liber pentru a pătrunde în matriță. La separarea din matriță arcul revine la poziția inițială, capul duzei execută o mișcare în față până la poziția limitată de tamponul *4*. Capul duzei execută o mișcare ghidată de știftul cilindric *6*.

Duze comandate de presiune. O soluție constructivă este prezentată în *fig.3.39.* Sub acțiunea presiunii creată de melc în cilindru, presiune existentă și în camera interioară a capului duzei *1*, arcul de închidere dezvoltă o forță care prin intermediul pârghiei *5* comprimă arcul *6*. Astfel duza se deschide și materialul poate fi injectat. După sfârșitul

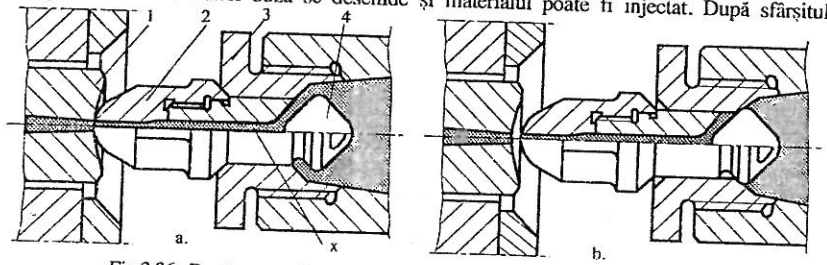


Fig.3.36. Duză comandată de matriță: 1 - duză matriță; 2 - cap duză; 3 - corp duză; 4 - miez; x - canal de curgere; a - duza deschisă; b - duza închisă.

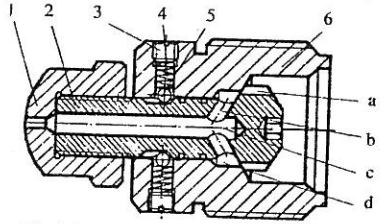


Fig.3.37. Duză cu închidere cu indexare: 1 - cap duză; 2 - miez; 3 - dop; 4 - arc; 5 - bilă; 6 - corp duză; a - degajare; b - canal înclinat; c - canal central; d - cameră de legătură.

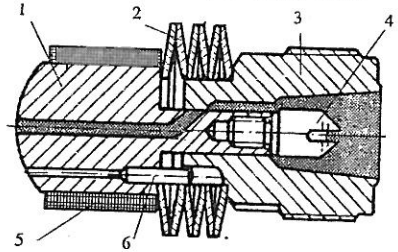


Fig.3.38. Duză cu închidere cu arc taler: 1 - cap duză; 2 - arc taler; 3 - corp duză; 4 - tampon; 5 - corp de încălzire; 6 - știft.

presiunii ulterioare, presiunea în cilindru scade, arcul acționează pârghia și aceasta determină mișcarea în față a acului *2* care obturează orificiul capului duzei *1*.

O soluție interesantă folosită la construcția duzei este prezentată în *fig.3.40.* Sub acțiunea melcului, în cilindrul de injectare se creează presiune. Materialul plastic sub presiune curge prin canalele sertarului *1* și ajunge în fața acului *2*. Sub acțiunea presiunii din fața acului, apare o forță care determină comprimarea arcurilor taler *5* astfel încât se eliberează orificiul din capul duzei sertar *1*. După încetarea presiunii ulterioare, acul *2* revine la poziția inițială și închide orificiul. Această duză are avantajul că se așează totodeauna elastic pe duza matriței prontr-o deplasare axială minimă sub acțiunea presiunii dintre cele două duze.

O construcție de duză care folosește un arc special este prezentată în *fig.3.41* [16]. Duza este recomandată pentru poliamidă armată cu fibră de sticlă. Canalul de curgere practicat pe axul duzei este obturat de știftul de închidere *1*. Forța de închidere se realizează de către arcul cu foi *3* care apasă pe capul știftului de închidere. Forța de apăsare a arcului poate fi reglată cu ajutorul dopului filetat *4*. La injectare, forța de închidere este învinsă de presiunea de injectare, care prin deplasarea transversală a știftului de închidere *1* eliberează orificiul permițând trecerea materialului plastic.

Duza prezintă câteva avantaje esențiale: construcție simplă și robustă, circuit de material neîmpiedicat, ceea ce determină uzura minimă a duzei, închiderea sigură și etanșă.

Duze cu comandă exterioară. Există soluții constructive de duze care pot fi acționate pneumatic sau hidraulic [1, 8]. În acest caz, închiderea și deschiderea duzei se poate introduce în circuitul logic de comandă al mașinii de injectat. În *fig.3.42* este prezentată soluția constructivă a unei duze acționate hidraulic. Înaintea injectării supapa *9* este acționată în poziția „cale deschisă" permițând trecerea materialului plastic. Acționarea supapei *9* se realizează prin comandă hidraulică asupra tijei pistonului *4*, a tijei de legătură *3* și a elementului basculant *2*. După terminarea compactizării, supapa *9* este acționată în poziția „cale închisă" legătura între capul duzei *1* și suportul duză *8* fiind întreruptă.

Pentru matrițele cu canale izolate sau încălzite, în afara duzelor deschise, la mașinile de injectat sunt folosite și duze cu închidere. O astfel de duză cu acționare hidraulică este prezentată în *fig.3.43.*

La injectare, prin acționare hidraulică, pârghia *6* se rotește și eliberează acul *4*, care, sub presiunea materialului plastic, eliberează calea de curgere a materialului plastic din cilindrul mașinii către matrița de injectat. După compactizare, sub acțiunea presiunii hidraulice, pârghia *6* apasă acul *4* care închide calea de trecere a materialului plastic.

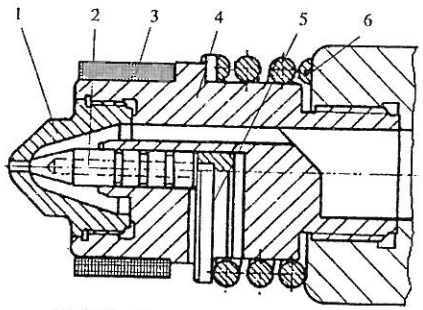


Fig.3.39. Duză cu închidere cu ac: 1 - cap duză; 2 - ac; 3 - corp de încălzire; 4 - corp duză; 5 - pârghie; 6 - arc.

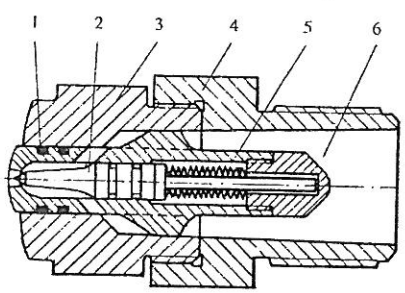


Fig.3.40. Duză cu închidere cu ac: 1 - duză sertar; 2 - ac; 3 - cap duză; 4 - corp duză; 5 - arc taler; 6 - dop.

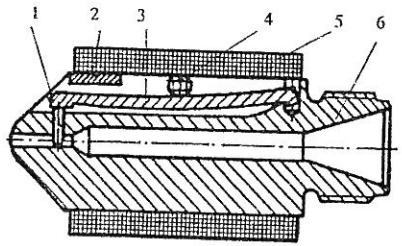


Fig.3.41. Duză cu închidere cu ac:
1 - ştift de închidere; 2 - placă; 3 - arc;
4 - ştift filetat; 5 - corp încălzire;
6 - corp duză.

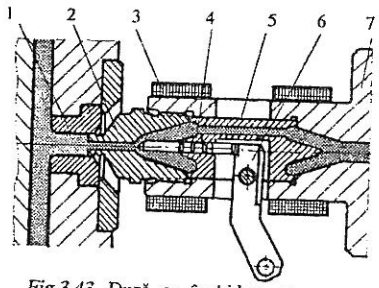


Fig.3.43. Duză cu închidere cu acţionare hidraulică: 1 - duză matriţă;
2 - cap duză; 3 - corp de încălzire; 4 - ac;
5 - corp duză; 6 - pârghie; 7 - ajutaj cilindru.

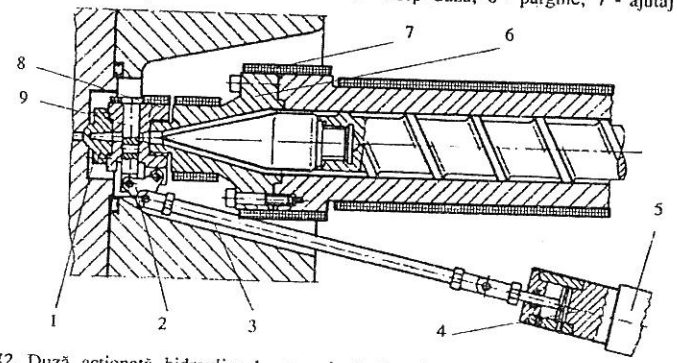


Fig.3.42. Duză acţionată hidraulic: 1 - cap duză; 2 - element basculant; 3 - tijă de acţionare; 4 - piston; 5 - cilindru hidraulic; 6 - ajutaj; 7 - corp de încălzire; 8 - corp duză; 9 - supapă.

3.2.2.3. Melcul

Melcul este organul activ al maşinii de injectat şi este construit în mai multe variante. Diversitatea geometrică a melcului se datoreşte proprietăţilor termice, tribologice şi reologice foarte diferite ale materialelor termoplastice ce se prelucrează prin injectare. Deşi s-a folosit de-a lungul anilor un melc universal, în ultimii ani se folosesc melci construiţi special pentru fiecare material termoplastic.

Melcul îndeplineşte următoarele funcţii:

- preia, transportă şi compactizează materialul ce curge prin pâlnia de alimentare a maşinii;
- asigură transformarea materialului solid în topitură;
- omogenizează topitura;
- intensifică transferul de căldură de la cilindru la material şi generează prin frecare o cantitate de căldură;
- transportă materialul sub formă de topitură către capul melcului;
- dozează cantitatea de material topit necesară injectării în capul cilindrului de injectare;

- joacă rol de piston împingând materialul topit din capul cilindrului prin duza de injectare în matriţa de injectat;
- asigură presiunea necesară umplerii şi compensării de material după contracţia materialului în matriţă.

3.2.2.3.1. Elementele constructive ale unui melc

Melcul unei maşini de injectat se compune din următoarele părţi componente: cap, corp şi coada melcului (*fig.3.44*).

Corpul melcului se caracterizează prin următoarele mărimi (*fig.3.45*):

- diametrul melcului;
- lungimea relativă;
- numărul zonelor funcţionale şi lungimea lor;
- raportul de compresie;
- geometria canalului melcului.

Diametrul melcului D, variază în limite largi, dependent de tipul maşinii, materialul prelucrat şi de parametrii funcţionali. Maşinile de injectat se construiesc cu melci a căror diametru este cuprins între limitele D = 20...200 mm.

Lungimea relativă. Este una din caracteriaticile importante ale melcului, întrucât de ea depinde lungimea relativă a zonelor funcţionale. Lungimea relativă L_r se defineşte ca raport între lungimea activă L a melcului şi diametrul melcului D

$$L_r = \frac{L}{D}. \tag{3.18}$$

Prelucrarea termoplastelor cu melci convenţionali, cu trei zone caracteristice, se face cu melci cu L_r = 10...23. Limitele superioare sunt indicate pentru melci cu diametre mari. Valoarea acestui raport poate ajunge şi la valori mai mari, L_r = 30...32. Mărimea lungimii melcului are ca rezultat o creştere a debitului şi o îmbunătăţire a calităţii produsului. Totuşi, lungimea melcului are o limită determinată de rezistenţa sa mecanică.

Numărul zonelor funcţionale şi lungimea lor. Melcii maşinilor de injectat au trei zone funcţionale (*fig.3.46*):

- *zona de alimentare* care are lungimea L_1;

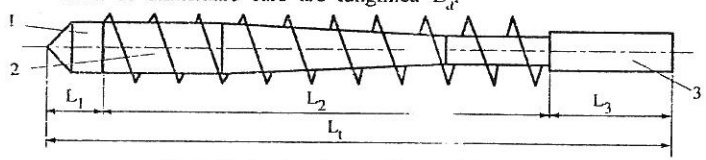


Fig.3.44. Construcţia melcilor de injectare:
1 - cap de injectare; 2 - corpul melcului; 3 - coada melcului.

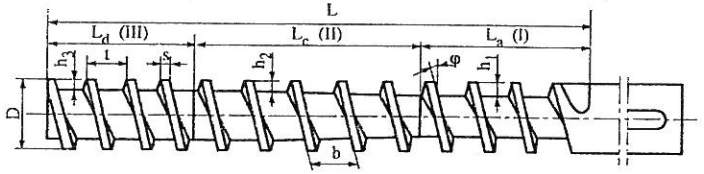


Fig.3.45. Elementele constructive ale unui melc.

- *zona de tranziţie sau compresie* care are lungimea L_t;
- *zona de dozare* care are lungimea L_d.

Aceste zone pot să apară distincte din punct de vedere constructiv, sau, spre exemplu pentru un melc cu canal continuu descrescător pe toată lungimea, limitele dintre zone nu sunt evidente.

Melcii de construcţie specială pot avea câte două zone de compresie şi dozare. În acest caz, în mod obligatoriu, apare o zonă de decompresie situată între prima zonă de dozare şi zona a doua de compresie. Zonele de decompresie sunt practicate în cazul materialelor care necesită degazare. Principial ele se realizează printr-o creştere bruscă a secţiunii de curgere a materialului ca urmare a micşorării diametrului miezului melcului sau prin alte tehnici (*fig.3.46*).

Tendinţa de îmbunătăţire a prelucrării prin injectare a determinat conceperea şi construcţia unor melci cu posibilităţi de amestecare intensă. Aceşti melci sunt echipaţi cu una sau mai multe zone de amestec care au lungime relativ mică. Amestecarea intensivă, în majoritatea cazurilor, se bazează pe micşorarea secţiunii de curgere în care materialul este supus la tensiuni de forfecare mari. Toate aceste zone se amplasează în diverse poziţii pe lungimea melcului, poziţii în care materialul este în stare de topitură. Lungimea zonelor poate varia în limite foarte largi. Conform datelor din literatura de specialitate se recomandă [1, 13, 22]:

- zona de alimentare, $L_a / D = 2...19$;
- zona de tranziţie (compresie), $L_t / D = 3...13$;
- zona de dozare, $L_d / D = 1...17$.

Proiectarea corectă a lungimii acestor zone este de o deosebită importanţă pentru buna funcţionare a maşinii de injectat.

Raportul de compresie r_c este o măsură a variaţiei suprafeţei secţiunii transversale a canalului prin care curge materialul. El se defineşte ca raportul dintre volumul cuprins în primul pas din zona de alimentare şi cel cuprins în ultimul pas al zonei de pompare

$$r_c = \frac{V_i}{V_e} = \frac{S_i}{S_e}, \tag{3.19}$$

unde:

- V_i - volumul cuprins în primul pas al zonei de alimentare (volum la intrare);
- V_e - volumul cuprins în ultimul pas al zonei de dozare (volum la ieşire);
- S_i - secţiunea la intrare;
- S_e - secţiunea la ieşire.

Raportul de compresie trebuie să corespundă variaţiei de volum a materialului

$$r_c = \frac{\rho_3}{\rho_1} \tag{3.20}$$

unde:

- ρ_1 - densitatea aparentă sau în vrac a granulelor de material;
- ρ_3 - densitatea topiturii la temperatura şi presiunea de dozare.

În *tab.3.2* [31] sunt date rapoartele de compresie a unor melci utilizaţi pentru maşinile de injectat. În general rapoartele de compresie pentru maşinile de injectat sunt cuprinse între valorile 2,5...3,2. Sub aspect constructiv, raportul de compresie al unui melc se poate realiza prin două metode: micşorarea adâncimii canalului şi micşorarea pasului filetului. Cel mai frecvent, compresia rezultă prin micşorarea adâncimii canalului. Această metodă este avantajoasă din punct de vedere constructiv. Canalele de adâncime mică realizează o bună omogenizare a materialului, însă prezintă dezavantajul supraîncălzirilor locale prin disiparea energiei mecanice, în cazul topiturilor cu vâscozitate mare.

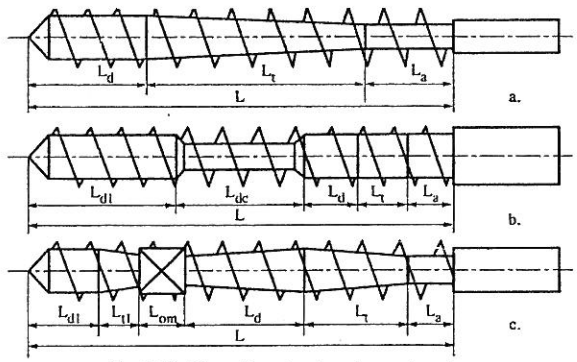


Fig.3.46. Zone funcţionale ale unui melc:
a - melc convenţional cu trei zone funcţionale; b - melc cu degazare; c - melc cu zonă de omogenizare intensă; L_a - zonă de alimentare; L_t - zonă de tranziţie; L_d - zonă de dozare; L_{dc} - zonă de decompresie; L_{om} - zonă de omogenizare intensă.

Tab.3.2. **Caracteristici geometrice la diferite tipuri de melci de injectat.**

Material	Denumire comercială	L	L_a	L_c	L_d	r_c
Poliamidă	Technyl	(15...22)D	(9...10)D	(3...5)D	(3...5)D	2,5...3
	Ultramid	(6...20)D	0,5L	0,3L	0,2L	-
	Durethan	(9...14)D	(3...6)D	(3...4)D	(3...4)D	-
	Vestamid	(12...18)D	(3...6)D	(3...4)D	(3...4)D	2,5
Polipropilenă	Vestolen P	(20...25)D	-	-	-	3...4
	Hostalen PP	(20...25)D	-	-	-	-
Polietilenă	Hostalen	(15...25)D	-	-	-	3
	Vestolen	(20...25)D	-	-	-	-
Acrilonitril-Butadien Stiren	Terluran	(16...20)D	0,5L	0,3L	0,2L	2...2,5
Polibutilen-tereftalat	Vestodur	(14...18)D	(8...9)D	(4...6)D	(2...3)D	-
	Ultradur	(16...20)D	0,5L	0,3L	0,2L	-
Polistiren	Polystyrol	(16...20)D	0,5L	0,3L	0,2L	2
Acetat de celuloză	Cellidor	-	0,5L	0,33L	0,17L	2,5
Polioximetilen	Ultraform	(16...20)D	0,5L	0,3L	0,2L	2
PVC plastifiat						2,5...3
PVC dur granule						2...2,5

A doua metodă de realizare a raporturilor de compresie se face prin micşorarea pasului filetului (se aplică la topiturile cu vâscozitate mare).

Geometria canalului melcului se adaptează proprietăţilor materialelor prelucrate. Pasul filetului şi adâncimea canalului pot fi constante sau variabile. Variaţiile pot fi continue sau în trepte. În *fig.3.47* sunt reprezentate secţiuni prin diferite canale.

În mod obişnuit, adâncimea relativă a canalului în zona de pompare variază între

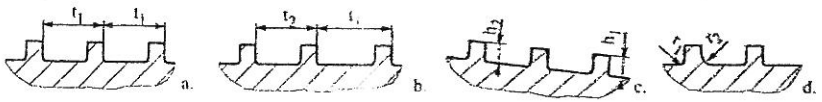


Fig.3.47. Secţiuni prin canalele unor melci de injectare:
a - melc cu pas constant; b - melc cu pas variabil ($t_2 < t_1$); c - melc cu înălţime variabilă a spirelor ($h_2 < h_1$); d - racordări diferite la spira unui melc ($r_1 < r_2$).

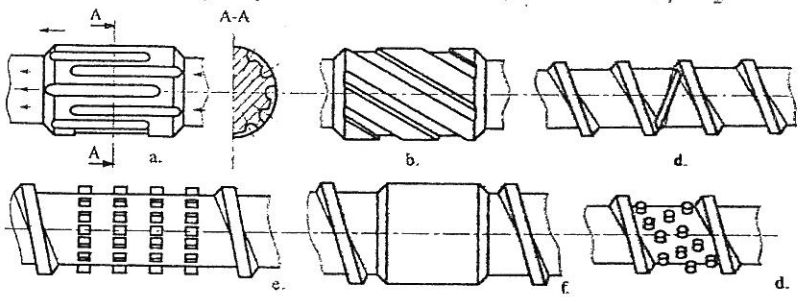


Fig.3.48. Zone de omogenizare intensă la construcţia melcilor:
a - zonă de omogenizare cu caneluri longitudinale; b - zonă de omogenizare cu caneluri înclinate; c - zonă de omogenizare cu contraspiră; d - zonă de omogenizare cu ştifturi (melc Baroflex); e - zonă de omogenizare cu dinţi; f - zonă de omogenizare cu zonă de laminare.

valorile $h_3 / D = 0{,}025...0{,}05$. Adâncimea canalului în zona de alimentare rezultă în funcţie de raportul de compresie şi de adâncimea în zona de pompare.

Pasul spiralei melcului, pentru melci cu un singur început, are valori cuprinse între $(0{,}8...1{,}2)D$. În cele mai multe cazuri, pasul este egal cu diametrul, $p = D$. Unghiul măsurat la vârful filetului corespunzător acestui pas este $\varphi = 17° 40'$.

Spira melcului în secţiune transversală are formă dreptunghiulară cu raze de racordare la miezul melcului. Razele de racordare la cele două flancuri ale filetului pot fi egale sau diferite (*fig.3.47.d*).

Grosimea spirei melcului măsurată perpendicular pe flancul spirei are valori cuprinse între $s = (0{,}08...0{,}12)D$. Valorile mici prezintă rezistenţă scăzută, iar valorile mari prezintă pericolul supraîncălzirilor locale şi micşorează suprafaţa secţiunii de curgere a materialului.

Melcii se construiesc cu diametrul exterior mai mic decât diametrul interior al cilindrilor. Se recomandă un joc diametral $2\delta = (0{,}002...0{,}005)D$.

Pentru melcii speciali cu zone de omogenizare intensă, geometria melcului se abate de la construcţia clasică [2, 22, 54, 55, 57] (*fig.3.48*).

Capul melcului. Există mai multe variante constructive pentru capetele melcilor de injectat [1, 3, 6, 8, 10, 13, 15, 22]. Pentru materialele termoplastice vâscoase se folosesc soluţiile constructive prezentate în *fig.3.49.*

La extremităţile melcului se montează piese cilindro-conice, numite capete de melc. Capul melcului are un rol important în procesul de injectare:

- orientează materialul dozat spre centrul cilindrului de injectare;
- omogenizează temperatura materialului topit ieşit din zona de dozare a melcului;
- împiedică ca materialul plastic rămas în cilindru să fie antrenat în mişcare de rotaţie la o nouă cursă de dozare, lucru care ar contribui la degradarea sa termică.

Capul din *fig.3.49.b* prezintă pe suprafaţa conică o spiră cu pas variabil care are rolul să antreneze materialul dozat spre centrul cilindrului de injectat. Soluţia este recomandată pentru injectarea cu intruziune; soluţia se recomandă la prelucrarea PVC.

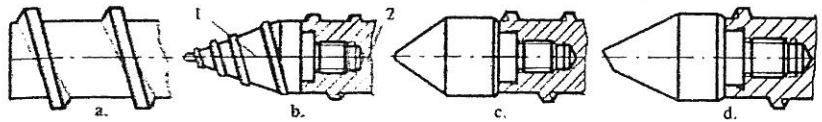


Fig.3.49. Capete de injectare pentru materiale termoplastice cu vâscozitate mare:
1 - cap; 2 - corp melc; a - fără cap conic; b - cu cap conic cu spiră; c - cap conic; d - cap conic cu teşire.

Capul din *fig.3.49.c* este recomandat pentru materialele termoplastice cu vâscozitate foarte mare (acetat de celuloză şi polimetacrilat de metil).

Capul din *fig.3.49.d* prezintă în zona conică o teşitură, soluţie care realizează o bună spălare a peretelui cilindrului prin efectul turbionar creat.

La materialele termoplastice cu vâscozitate scăzută, la faza de injectare, există pericolul ca materialul plastic topit să curgă invers peste spiralele melcului ca urmare a presiunii create în faţa capului de injectare. Un efect imediat al curgerii inverse este scăderea presiunii de injectare şi reducerea cantităţii de material injectat. În acest caz se folosesc alte soluţii constructive (*fig.3.50, fig.3.53*).

Soluţia constructivă din *fig.3.50* foloseşte un cap de injectare cu clapetă antiretur. Capul de injectat *1* se înşurubează la extremitatea melcului *4*. Clapeta antiretur 2 este ghidată de peretele interior al cilindrului de injectare. În funcţie de presiunea exercitată de o parte sau de alta a clapetei, aceasta se aşează pe suprafeţele conice de închidere ale capului de injectat *1* sau melcului de presiune *3*. Se recomandă pentru unghiurile din figură următoarele valori: $\alpha = 30°$ (sau 60°); $\beta = 15°$; $\gamma = 30°$. Pentru dimensiunile *a*, *b* şi *h* se aleg astfel valorile încât să nu fie permisă curgerea inversă.

Funcţionarea capului de injectare cu clapetă antiretur este prezentată în *fig.3.51.* În timpul dozării (*fig.3.51.a*) materialul plastic plastifiat este împins de melcul de injectare aflat în mişcare de rotaţie, în zona *B*. Presiunea creată determină mişcarea spre faţă a clapetei antiretur care realizează cale liberă pentru materialul termopalstic între *B* şi *A*. În timpul injectării melcul avansează, în faţa lui luând naştere presiune, astfel încât clapeta antiretur închide legătura între *A* şi *C*. În acest caz ansamblul lucrează ca un piston şi nu permite curgerea inversă a materialului.

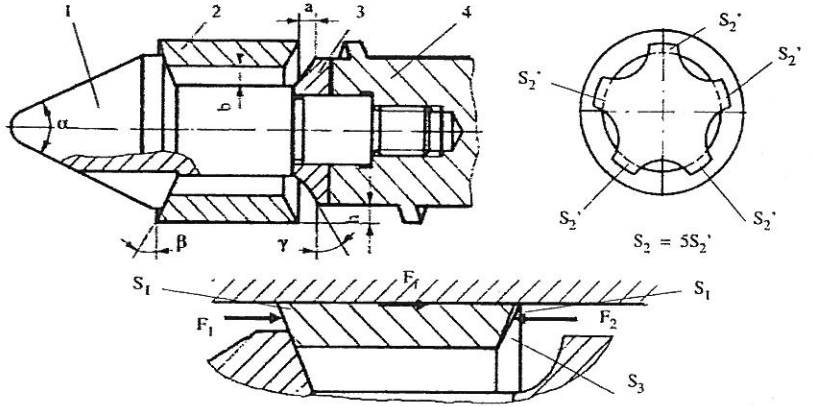


Fig.3.50. Cap de injectare cu clapetă antiretur:
1 - cap conic; 2 - clapetă antiretur; 3 - inel presiune; 4 - melc.

Pentru ca clapeta antiretur să închidă în timpul plastificrii. trebuie să se îndeplinească relaţia (*fig.3.50*)

$$F_1 + F_f > F_2, \qquad (3.21)$$

unde:

- F_1 - forţa exercitată de materialul plastic la injectare pe suprafaţa activă S_1;
- F_f - forţa de frecare a clapetei antiretur la contactul cu cilindrul;
- F_2 - forţa exercitată de clapeta antiretur pe cealaltă faţă frontală a clapetei antiretur [8, 48].

Relaţia (3.21.) se mai poate scrie

$$p(S_1 - S_2) + F_f > pS_1, \qquad (3.22)$$

unde:

- p - presiunea materialului termoplastic în faza de dozare în faţa capului de injectare;
- S_1 - suprafaţa frontală a clapetei antiretur;
- S_2 - suprafaţa de contact dintre clapeta antiretur şi capul de injectare.

Datorită faptului că suprafaţa conică S_1 este supusă uzurii în timp, se folosesc în ultimul timp soluţii constructive care folosesc elemente intermediare foarte rezistente la uzură (inele ceramice sau ştifturi din material dur) (*fig.3.52*) [28].

O altă soluţie constructivă pentru un cap de injectare foloseşte o supapă de închidere cu bilă (*fig.3.53*) [50]. În funcţie de direcţia de acţiune a materialului plastic, bila *3* joacă rol de supapă închizând sau deschizând calea între canalul melcului şi camera din faţa capului melcului.

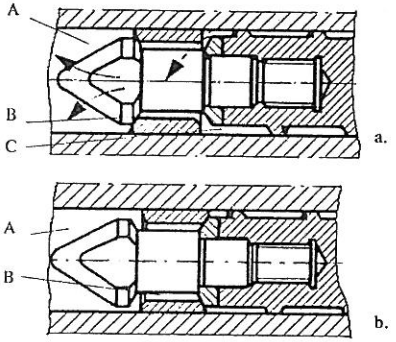


Fig.3.51. Funcţionarea capului de injectare cu clapetă antiretur: a - dozarea; b - injectarea; A, B, C - camere de lucru.

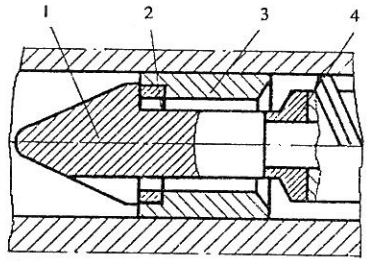


Fig.3.52. Clapetă antiretur cu inel ceramic: 1 - cap conic; 2 - inel ceramic; 3 - clapetă antiretur; 4 - inel de presiune.

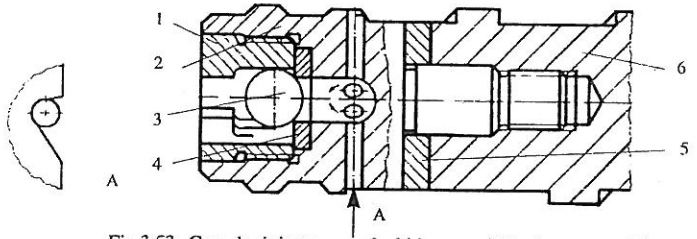


Fig.3.53. Cap de injectare cu închidere cu bilă: 1 - suport bilă; 2 - cap de injectare; 3 - bilă; 4 - şaibă de presiune; 5 - inel intermediar; 6 - melc.

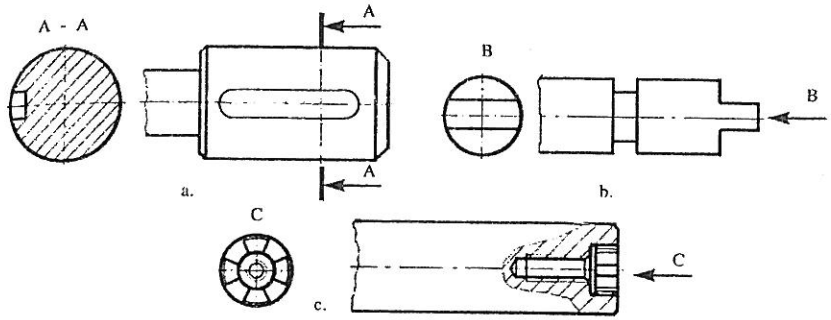


Fig.3.54. Soluţii constructive pentru cozile melcilor: a - cu locaş de pană; b - cu gheară centrală; c - cu 3 gheare.

Coada melcului este partea constructivă a melcului care se pune în legătură cu sitemele de acţionare, care determină mişcările melcului. Coada melcului îndeplineşte mai multe sarcini:

- preia mişcarea de rotaţie de la sistemul de acţionare;
- preia mişcarea de translaţie de la sistemul de acţionare;
- serveşte la rezemarea melcului.

Există mai multe soluţii constructive (*fig.3.54*).

3.2.2.3.2. Tipuri constructive de melci

Există mai multe criterii de clasificare a melcilor [2, 22, 34, 54]. După geometria canalului există următoarele tipuri principale:

- melci cu pas constant şi adâncimea variabilă continuu;
- melci cu pas constant şi adâncimea variabilă în trepte.

După particularităţile constructive sunt:

- melci cu zone de omogenizare intensă;
- melci cu zone de degazare;
- melci cu supape antiretur.

După materialul prelucrat sunt:

- melci pentru prelucrarea unui grup de materiale termoplastice;
- melci pentru prelucrarea unui anumit tip de material termoplastic (PVC, acetat de celuloză, poliamidă, etc.).

Cei mai folosiţi melci de injectare pentru termoplaste sunt cei cu trei zone geometrice. Caracteristicile geometrice ale melcilor pentru diferite materiale termoplastice sunt prezentate în *tab.3.2* [8, 12, 14, 15, 60].

Topirea materialului are loc pe o mare porţiune din zona de alimentare şi de tranziţie. dar nu este totdeauna completă. După plastifiere este necesară o omogenizare a topiturii. Aceasta se realizează cu ajutorul zonelor de dozare lungi şi cu canal de adâncime mică. Materialele termosensibile nu pot fi omogenizate cu o astfel de zonă datorită căldurii generate prin frecare. Pentru aceasta se recomandă zone de omogenizare intensă (*fig.3.48*). Un melc cu zonă de omogenizare intensă recomandat pentru poliolefine este prezentat în *fig.3.55* [28, 61].

Prelucrarea prin injectare a unor materiale termoplastice care sunt higroscopice poate să îngreuneze procesul de injectare. La prelucrarea unor astfel de materiale, fără

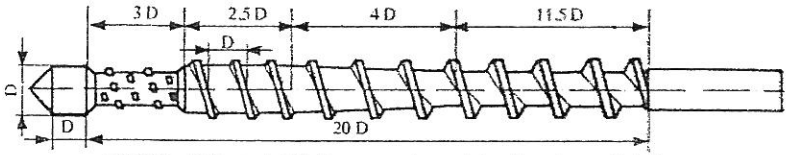


Fig.3.55. Melc cu zonă de omogenizare intensă pentru polioleﬁne

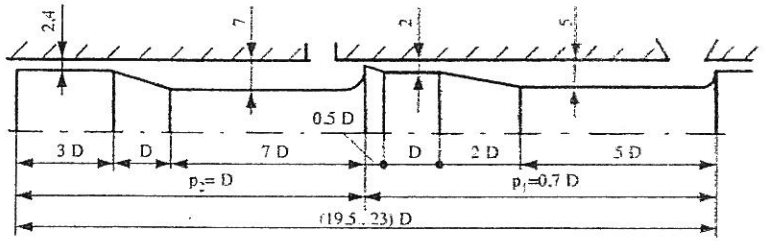


Fig.3.56. Unitate de injectare cu degazare.

uscare prealabilă, apa absorbită sau aderentă este eliberată în topitură şi dă naştere la defecte în piesa injectată (cap.5). Un procedeu pentru eliberarea apei precum şi a altor componente volatile, foloseşte un melc de construcţie specială [1, 11, 15, 61].

Principiul degazării cu ajutorul melcului, cunoscut la prelucrarea prin extrudere, a fost preluat şi la maşina de injectat ţinând cont de două caracteristici specifice prelucrării prin injectare: funcţionarea discontinuă a maşinii şi cursa de dozare a melcului. O unitate de injectare cu degazare, prezentată în *fig.3.56*, este formată dintr-un melc cu degazare şi un cilindru cu degazare care prezintă un orificiu între zona de alimentare şi capul de injectare pentru eliminarea substanţelor gazoase spre exterior.

Elementul de bază al ansamblului de plastifiere este melcul care prezintă mai multe zone (*fig.3.57*):

- L_a - zona de alimentare;
- L_{c1} - prima zonă de compresie;
- L_p - zona de plastifiere;
- L_{dc} - zona de comprimare;
- L_{dz} - zona de degazare;
- L_{c2} - a doua zonă de compresie;
- L_d - zona de dozare.

Melcii cu degazare au următoarele caracteristici:

- lungimea totală activă $L = (19.5...23)D$;
- zona de alimentare şi zona de degazare sunt lungi şi ţin cont de cursa melcului în cilindrul de injectare;
- pasul melcului după zona de degazare este mai mare decât pasul melcului până la zona de degazare ($p_2 > p_1$).

Fenomenul de degazare poate fi descris urmărind *fig.3.56.* şi *fig.3.57.* Materialul plastic introdus în cilindrul maşinii de injectat este adus în stare plastifiată până la sfârşitul primei zone de plastifiere. Pe această zonă creşte atât presiunea materialului plastic cât şi presiunea vaporilor din topitură. În zona de decompresie şi zona de degazare presiunea topiturii scade şi ajunge până aproape de presiunea atmosferică. Datorită diferenţei de presiune a vaporilor din cilindru şi a vaporilor din atmosferă are loc eliminarea în atmosferă a vaporilor din topitură. Datorită faptului că spira melcului în zona de degazare nu este complet umplută, are loc un curent invers al vaporilor,

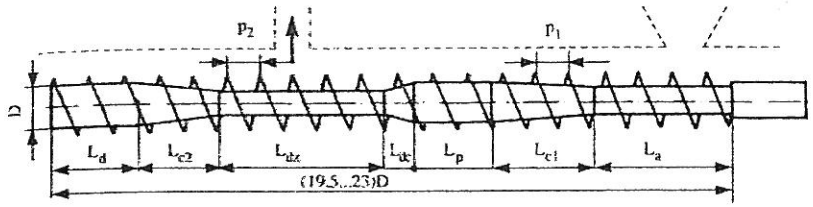


Fig.3.57. Elementele de bază ale melciului.

împotriva direcţiei de transport, spre orificiul de degazare. După degazare materialul este comprimat din nou şi presiunea lui creşte.

Cu ajutorul melcilor cu degazare pot fi prelucrate materiale ca: acetat de celuloză, polimetacrilat de metil, poliamidă, ABS.

3.2.2.3.3. Material şi execuţie

Melcii maşinilor de injectat se execută din oţel de construcţie slab aliat cu mangan, crom şi molibden, îmbunătăţit la $\sigma_r = 90...100$ kgf/cm^2 şi călit superficial, sau din oţel de nitrurare supus unui tratament de ioninitrurare.

Melcul de injectare se poate executa prin strunjire sau prin prelucrare mecanică folosind dispozitive speciale.

3.2.2.3.4. Calculul de rezistenţă

Calculul de rezistenţă al melcului maşinii de injectat este asemănător calculului melcului maşinii de extrudere cu unele particularităţi specifice funcţionării maşinii de injectat [2].

Încărcarea melcului în momentul dozării este prezentată schematic în *fig.3.58.* Se face abstracţie de variaţia lungimii L a melcului în timpul dozării. Asupra melcului acţionează:

- momentul de răsucire M_r creat de sistemul de acţionare;
- greutatea melcului uniform repartizată pe lungimea L;
- sarcina axială, ca urmare a acumulării materialului la capul melcului p_a.

Greutatea proprie a melcului se calculează cu relaţia

$$Q = qL, \tag{3.23}$$

unde:

- q - încărcarea liniară a melcului;
- L - lungimea melcului aflată în consolă.

Sarcina axială se calculează cu relaţia

$$p_a = \frac{\pi}{4} D^2 \Delta p, \tag{3.24}$$

unde:

- D - diametrul melcului;
- D_p - presiunea la capătul melcului.

Calculul de flambaj al melcului Sarcina critică de flambaj pentru bara încastrată de lungime L este dată de relaţia

$$p_{cr} = 2.467 \frac{EI}{L^2}. \tag{3.25}$$

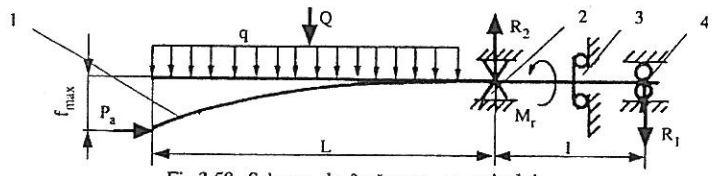


Fig.3.58. Schema de încărcare a melcului:
1 - linia elastică a melcului; 2 - reazemul melcului; 3 - rulment axial; 4 - rulment radial.

unde:

- I - momentul de inerţie al barei;
- E - modulul de elesticitate al materialului.

Momentul de inerţie se calculează cu relaţia

$$I = \frac{\pi D^4}{64}. \tag{3.26}$$

Se calculează coeficientul de siguranţă efectiv cu relaţia

$$c_{ef} = \frac{p_{cr}}{p}, \tag{3.27}$$

La o dimensionare raţională

$$c_{ef} = c_a(1 \pm 0{,}1), \tag{3.28}$$

unde:

- C_a - coeficientul de siguranţă admisibil la flambaj.

Calculul săgeţii maxime a melcului. Pentru o bară încastrată la un cap, cu o sarcină uniform distribuită, la capătul liber săgeata maximă va fi

$$f_{max} = \frac{qL^2}{8EI}. \tag{3.29}$$

Este necesar ca

$$f_{max} \le \delta, \tag{3.30}$$

unde:

- δ - jocul radial al melcului în cilindru.

Se consideră melcul o bară supusă la încovoiere şi răsucire; vor lua naştere astfel eforturi unitare normale şi tangenţiale.

Efortul unitar maxim la încovoiere. Momentul încovoietor maxim se calculează cu relaţia

$$M_{i\,max} = \frac{QL}{2} + p_a\delta \qquad (f_{max} = \delta). \tag{3.31}$$

Efortul unitar maxim se determină cu relaţia

$$\sigma_{max} = \frac{p_a}{A} + \frac{M_{i\,max}}{W}, \tag{3.32}$$

unde:

- A - aria secţiunii melcului;
- W - modulul de rezistenţă.

Efortul unitar de răsucire. Efortul unitar de răsucire se determină cu relaţia

$$\tau_{max} = \frac{M_r}{W_p} \tag{3.33}$$

unde:

- M_r - momentul maxim de răsucire;
- W_p - modulul de rezistenţă polar calculat pentru diametrul interior al filetului.

Efortul unitar echivalent. Efortul echivalent, calculat după teoria eforturilor unitare tangenţiale maxime, foloseşte relaţia

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2_{max} + 4\tau^2_{max}}. \tag{3.34}$$

Efortul unitar echivalent se compară cu efortul unitar admisibil

$$\sigma_e \le \sigma_a. \tag{3.35}$$

Coeficient de siguranţă static. Se determină coeficientul de siguranţă static cu relaţia

$$c_s = \frac{\sigma_c}{\sigma_e} \le c_{sa}, \tag{3.36}$$

unde:

- σ_c - efortul unitar de curgere al materialului melcului;
- c_{sa} - coeficient de siguranţă admisibil.

Coeficient de siguranţă la oboseală. Coeficientul de siguranţă la oboseală este dat de relaţia

$$c = \frac{1}{\frac{1}{c^2_\sigma} + \frac{1}{c^2_\tau}} \le c_a, \tag{3.37}$$

unde:

- c_σ - coeficient de siguranţă pentru solicitări normale;
- c_τ - coeficient de siguranţă pentru solicitări tangenţiale.

Coeficientul de siguranţă c_σ şi c_τ se calculează cu formulele oferite în literatura de specialitate [81].

3.2.2.3.5. Acţionarea melcului

Melcul maşinii de injectat execută două mişcări: o mişcare de rotaţie şi o mişcare de translaţie. Mişcarea de translaţie a melcului se realizează cu ajutorul unui motor hidraulic liniar. Mişcarea de rotaţie se poate realiza cu ajutorul unui motor hidraulic rotativ sau cu ajutorul unui motor electric. Există mai multe soluţii constructive de acţionare [1, 2, 9, 11, 13, 17, 21].

O soluţie constructivă de acţionare a unui melc este prezentată în *fig.3.59.* Mişcarea de translaţie a melcului *9* se realizează prin acţionarea acestuia de către pistonul hidraulic *17* al motorului hidraulic liniar *16*. Legătura între pistonul hidraulic şi melc se realizează prin intermediul bucşei cu gheare *15* şi a şurubului special *14*. Şurubul special *14*, care iese în afara motorului hidraulic *16*, se înfiletează în melc şi realizează cuplarea prin ghiare a bucşei canelate *15* şi a melcului *9*. Mişcarea de rotaţie a melcului *9* se realizează prin acţionarea motorului hidraulic rotativ *1*. Mişcarea de rotaţie de la motorul hidraulic se transmite prin intermediul angrenajelor de roţi dinţate *5-6* şi *4-12* la bucşa canelată *11*. Bucşa *11*, prevăzută cu caneluri interioare, antrenează în mişcare de rotaţie bucşa *15* prevăzută cu caneluri exterioare. Prin intermediul cuplajului cu ghiare, mişcarea se transmite în continuare melcului *9*. Ansamblul de roţi dinţate formează un reductor de turaţie a cărui ungere se realizează cu baie de ulei într-un spaţiu etanş. Rezemarea axelor de transmisie se realizează pe rulmenţii radiali cu bile *3*, *7* şi *13*. Capătul „a" al axului intermediar *10* face legătura printr-un sistem de transmisii cu roţi dinţate conice la un tahometru pentru măsurarea turaţiei melcului.

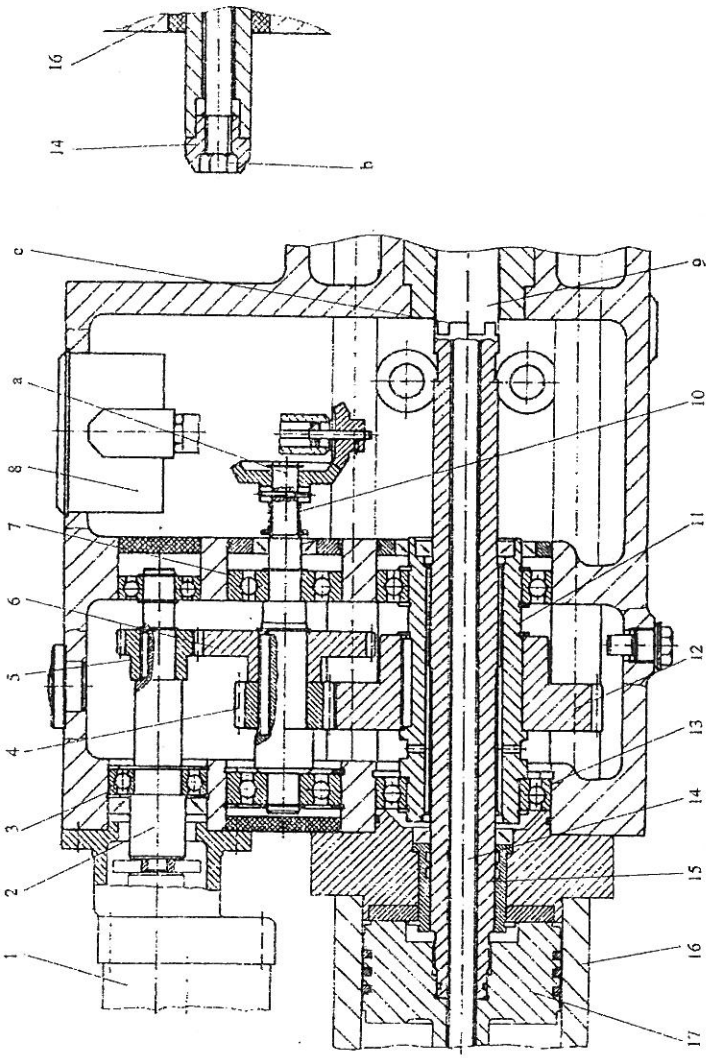


Fig.3.59. Sistemul de acţionare al unui melc: 1 - motor hidraulic rotativ; 2 - ax transmisie; 3 - rulment; 4 - roată dinţată antrenată; 5 - pinion; 6 - roată dinţată; 7 - rulment; 8 - tahometru; 9 - melc; 10 - ax intermediar; 11 - bucşă canelată; 12 - roată dinţată; 13 - rulmenţi; 14 - şurub special; 15 - bucşă cu ghiare; 16 - motor hidraulic liniar; 17 - piston hidraulic; a - legătură la tahometru; b - locaş hexagonal pentru înşurubare; c - ghiare cuplaj.

O altă soluţie constructivă de acţionare a unui melc este prezentată în *fig.3.60.* Mişcarea de avans a melcului se realizează cu ajutorul a două motoare hidraulice liniare *2.* Prin mişcarea pistoanelor *1* este antrenat suportul *4* pe care se află montat motorul hidraulic rotativ *5,* caseta *8,* bucşa de legătură *6,* rulmenţii *7* şi 8. Melcul *13* este asamblat cu bucşa de legătură *6* prin intermediul penei *10* şi a capacului de fixare *11.* Sarcinile axiale rezultate în procesul de injectare sunt preluate de rulmentul axial *7.* Melcul *13* este antrenat în mişcare de rotaţie în mod direct de către un motor hidraulic rotativ *5.* Motorul hidraulic de turaţie redusă are posibilitatea de a-şi adapta momentul de rotaţie progresiv în raport cu exigenţele cerute. De la axul motorului hidraulic *5,* prin intermediul unei pene, mişcarea se transmite bucşei de legătură *6* care prin intermediul bucşei *10* o transmite melcului *13.* Sarcinile radiale rezultate în timpul dozării sunt preluate de rulmentul radial *9.*

Există soluţii constructive de antrenare în mişcare de rotaţie a melcului cu ajutorul unui motor electric. În acest caz mişcarea de rotaţie de la motorul electric este transmisă la melc prin intermediul unui reductor de turaţie. Variaţia turaţiei melcului se poate face în trepte cu ajutorul unei manete prin care se cuplează în mod diferit roţile reductorului. Pentru exemplificare, la o maşină de injectat KUASY 5000/800 se pot obţine în 9 trepte următoarele turaţii la melc: 30; 37,5; 46; 55; 69; 85; 100; 124; 152.

3.2.2.4. Cilindrul

Împreună cu melcul cilindrul formează cuplul activ al maşinii de injectat. El trebuie să asigure încălzirea şi omogenizarea materialului, precum şi generarea presiunii necesare.

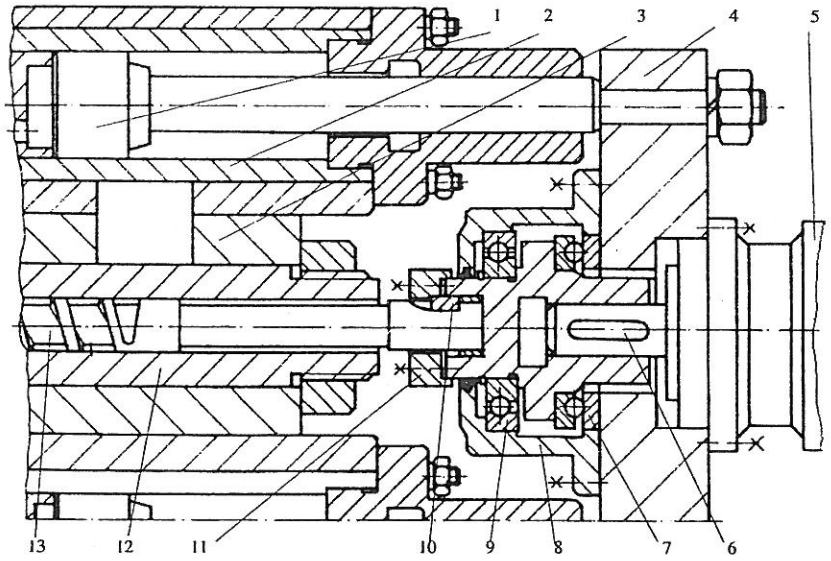


Fig.3.60. Sistemul de acţionare al unui melc: 1 - piston; 2 - motor hidraulic liniar; 3 - masa maşinii; 4 - suport; 5 - motor hidraulic rotativ; 6 - bucşă de legătură; 7 - rulment axial; 8 - casetă; 9 - rulment radial; 10 - bucşă; 11 - capac de fixare; 12 - cilindru de injectare; 13 - melc.

3.2.2.4.1 Construcţia

Există mai multe variante constructive de cilindri de injectare. Problemele ce privesc construcţia cilindrului se referă în principal la construcţia capului, a găurii de alimentare şi a modalităţii de fixare în corpul unităţii de injectare.

În *fig.3.61* sunt prezentate două soluţii constructive de capete de cilindri de injectare. La prima soluţie constructivă (*fig.3.61.a*) la extremitatea cilindrului de injectare *1* se fixează prin înşurubare capul filetat *2* în care se înşurubează duza maşinii *3*. Etanşeitatea în zona asamblării de realizează ca urmare a închiderii conice a elementelor de asamblare.

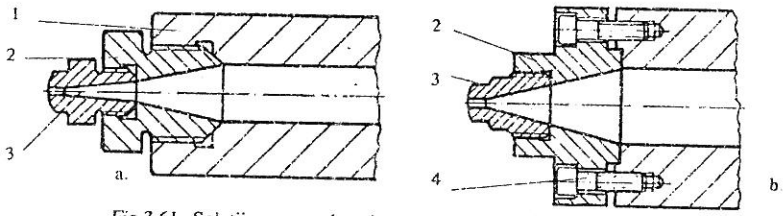


Fig.3.61. Soluţii constructive de capete la cilindri de injectare:
1 - cilindru; 2 - cap de injectare; 3 - duză maşină; 4 - şurub; a, b - variante constructive.

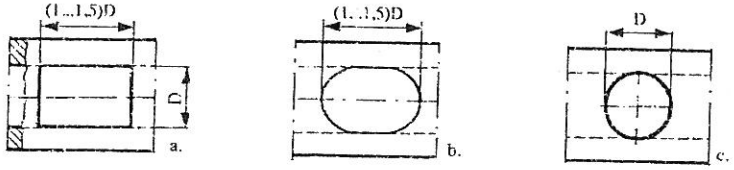


Fig.3.62. Găuri de alimentare în cilindrul de injectare:
a - gaură dreptunghiulară; b - gaură circulară alungită; c - gaură circulară.

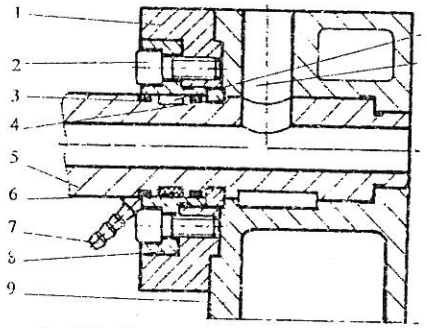


Fig.3.63. Fixarea cilindrului de injectare:
1 - piesă intermediară; 2 - şurub; 3 - garnitură de etanşare; 4 - semiinel de centrare; 5 - cilindru; 6 - garnitură; 7 - racord pentru apa de răcire; 8 - capac de strângere; 9 - corpul unităţii de injectare; a - canal pentru apa de răcire; b - gaură de alimentare.

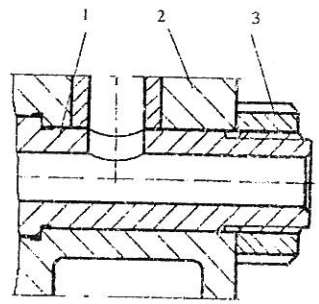


Fig.3.64. Soluţie constructivă pentru fixarea cilindrului de injectare:
1 - cilindru; 2 - corpul unităţii de injectare; 3 - piuliţă specială.

La a doua soluţie constructivă (*fig.3.61.b*) la extremitatea cilindrului de injectare 1 se fixează cu ajutorul mai multor şuruburi *4* capul de injectare *2*. Duza *3* se fixează în capul de injectare *2* prin înşurubare. Etanşeitatea elementelor în asamblare se realizează pe suprafeţele frontale ca urmare a strângerii realizate.

Orificiul de alimentare practicat în cilindru, la capătul zonei de alimentare, asigură umplerea canalului melcului cu material. Materialul care alimentează maşina de injectare se prezintă sub formă de granule cu diverse comportări la curgere. Orificiul poate avea diverse forme (*fig.3.62*).

Cilindrul de injectare se fixează în consolă în corpul unităţii de injectare în diferite moduri (*fig.3.63* şi *fig.3.64*).

La prima soluţie constructivă (*fig.3.63*) cilindrul de injectare *5* se fixează în consolă în corpul unităţii de injectare *9*. Fixarea axială a cilindrului se realizează cu ajutorul capacului de strângere *8* care apasă asupra semiinelelor de centrare *4*. Strângerea capacului *8* se realizează cu ajutorul şuruburilor în corpul intermediar *1* rigidizat de corpul unităţii de injectare *9*.

La a doua soluţie constructivă (*fig.3.64*) cilindrul de injectare *1* prevăzut cu umăr este aşezat în consola în corpul unităţii de injectare *2*. Fixarea axială a cilindrului se realizează cu ajutorul piuliţei *3* care se înşurubează în corpul posterior al cilindrului.

3.2.2.4.2. Material şi execuţie

În condiţii normale de lucru melcul se mişcă, sprijinindu-se pe topitura din material plastic, coaxial cu cilindrul. În situaţii deosebite (montaj necorespunzător, alimentare neuniformă) melcul poate să atingă cilindrul. De aceea cilindrul trebuie să reziste acţiunii abrazive a melcului care are duritate ridicată. În afara acestei acţiuni abrazive suprafaţa cilindrului poate suferi abraziune, chiar în regim normal de funcţionare, dacă materialul plastic prelucrat conţine particule de duritate mare (fibre de sticlă, fibre de azbest, etc.). Descompunerea termică a unor materiale termoplastice are loc cu degajare de agenţi corozivi (acid clorhidric la descompunerea PVC), ceea ce impune alegerea unui material de construcţie pentru cilindru rezistent la coroziune.

Pentru execuţia cilindrului se folosesc semifabricate turnate sau forjate din oţel, pentru nitrurarea căruia i se aplică un tratament de îmbunătăţire, realizându-se în miez o duritate de 300...400 HB. Nitrurarea oţelului se realizează la suprafaţa cilindrică interioară, după nitrurare atingându-se 900...1100 HV. Foarte frecvent se aplică suprafeţei interioare ioninitrurarea.

La prelucrarea şi îndepsebi la finisarea cilindrilor trebuie să se urmărească obţinerea unor găuri interioare cu formă geometrică corectă: secţiuni perfect circulare şi lipsa conicităţii. Suprafaţa interioară a cilindrului nu trebuie să fie prea netedă, în nici un caz lustruită.

3.2.2.4.3. Răcirea şi încălzirea

În zona de alimentare se realizează răcirea cilindrului cu apă industrială dedurizată (*fig.3.63*). Pe lângă aportul de căldură adus de energia de acţionare a melcului, pentru plastifierea materialului plastic cilindrul de injectare are nevoie de o încălzire externă.

Încălzirea externă se realizează pe zone cu ajutorul unor rezistenţe electric. Din punct de vedere constructiv încălzirea se realizează cu ajutorul mai multor manşoane de încălzire care îmbracă cilindrul maşinii de injectat. Există mai multe variante constructive

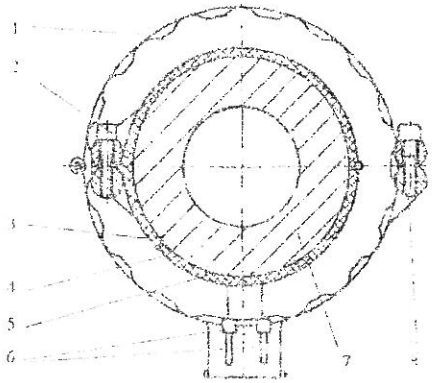


Fig.3.65. Soluţie constructivă de încălzire a cilindrului:
1 - semicarcasă reflectorizantă; 2 - şurub de fixare; 3 - manşon exterior; 4 - ansamblu de încălzire; 5 - manşon interior; 6 - conductori; 7 - cilindru de injectare; 8 - şurub de fixare.

de încălzire a acestor tipuri de manşoane.

Cel mai comun sistem de încălzire este prezentat în *fig.3.65*. Pe un manşon de tablă 5 este montat un ansamblu de încălzire 4 format din două straturi izolatoare de micanită şi o rezistenţă de încălzire în formă de bandă (rantal) înfăşurată pe suprafaţa cilindrică. La exterior, peste stratul al doilea de micanită se strânge prin intermediul şuruburilor 2, manşonul exterior 3, confecţionat din tablă.

Pentru reducerea pierderilor de căldură către exterior, manşonul de încălzire este cuprins între două semicarcase exterioare 1 confecţionate din tablă şi prevăzute cu elemente reflectorizante. Semicarcasele reflectorizante sunt strânse peste corpul de încălzire cu şuruburile de fixare 8.

O altă soluţie de încălzire electrică se poate realiza cu rezistenţă spirală din sârmă de cantal, care este introdusă în orificiile mai multor elemente ceramice care formează manşoane cilindrice de încălzire. Şi în acest caz pierderile în exterior se limitează cu ajutorul unor manşoane reflectorizante.

Maşinile de injectat impun menţinerea constantă a temperaturii pe fiecare din zonele de încălzire ale cilindrului. În acest scop se utilizează termoregulatoare automate, parametrul de reglare fiind temperatura cilindrului sau a duzei şi parametrul reglat fiind intensitatea curentului electric de încălzire. Pentru sesizarea temperaturii de către termocuple se practică orificii radiale în cilindru, până la o anumită distanţă de suprafaţa sa interioară.

3.2.2.4.4. Calculul de rezistenţă

Cilindrul, capul de injectare, îmbinarea capului de injectare cu duza se dimensionează ţinând seama că în interiorul cilindrului ia naştere o presiune înaltă, variabilă în timp, în condiţii de temperatură înaltă (*fig.3.66*).

Calculul cilindrului. Se consideră cilindrul un corp cu perete gros solicitat la presiune interioară şi temperatură (*fig.3.67*) [81, 82, 83]. Atâta timp cât solicitarea se menţine sub limită de curgere se poate aplica principiul suprapunerii efectelor, tensiunea totală rezultând prin însumarea algebrică a tensiunilor determinate de temperatură $\sigma_{(T)}$ şi respectiv de presiune $\sigma_{(p)}$

$$\sigma_r = \sigma_r(T) + \sigma_r(p), \tag{3.38}$$

$$\sigma_\theta = \sigma_\theta(T) + \sigma_\theta(p), \tag{3.39}$$

$$\sigma_z = \sigma_z(T) + \sigma_z(p), \tag{3.40}$$

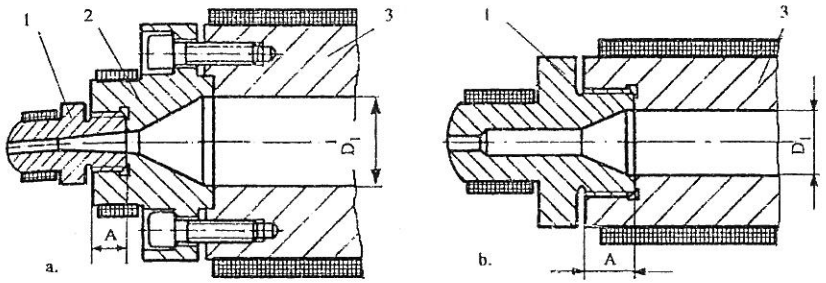


Fig.3.66. Asamblări în capătul cilindrului de injectare:
a, b - variante constructive; 1 - duză de injectare; 2 - cap de injectare; 3 - cilindru; A - zonă filetată

unde:

- σ_r - efort unitar radial;
- σ_θ - efort unitar inelar;
- σ_z - efort unitar axial.

Se definesc rapoartele

$$\beta = \frac{R_2}{R_1}, \tag{3.41}$$

$$\beta_r = \frac{R_2}{r}, \tag{3.42}$$

când $r = r_i \ldots\ldots r_e$, $\beta_r = \beta \ldots 1$.

Tensiunea echivalentă σ_{ech} se calculează după una din teoriile de rezistenţă. Se impune $\sigma_{ech} \leq \sigma_a$, în care tensiunea admisibilă σ_a se calculează ţinând seama de temperatura de lucru şi caracterul dinamic al solicitării mecanice.

Deoarece tensiunile cu valori extreme sunt la suprafeţele interioare şi exterioare, calculul tensiunilor se face la $r = R_1$ şi $r = R_2$. La raza interioară $r = R_1$ eforturile se calculează:

- datorită presiunii interioare

$$\sigma_r(p) = -p_i, \tag{3.43}$$

$$\sigma_\theta(p) = p_i \frac{\beta_r^2 + 1}{\beta^2 - 1}, \tag{3.44}$$

$$\sigma_z(p) = p_i \frac{1}{\beta^2 - 1}; \tag{3.45}$$

- datorită temperaturii

$$\sigma_r(T) = 0, \tag{3.46}$$

$$\sigma_\theta(T) = m\, k_1 \Delta T, \tag{3.47}$$

$$\sigma_z(T) = \sigma_\theta(T), \tag{3.48}$$

în care

$$k_1 = \frac{1}{\ln \beta} - \frac{2\beta^2}{\beta^2 - 1}, \tag{3.49}$$

$$\Delta T = T_1 - T_2 \qquad (T_1 < T_2). \tag{3.50}$$

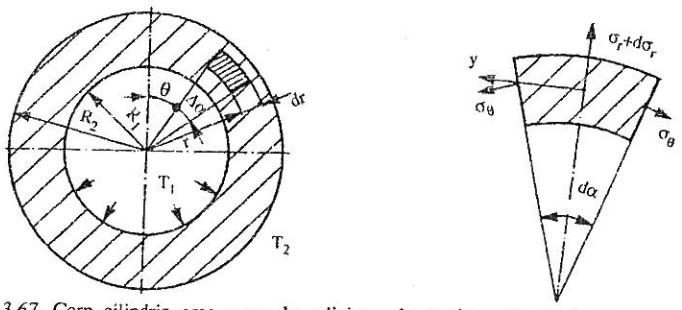


Fig.3.67. Corp cilindric gros supus la solicitare de presiune interioară şi temperatură.

Folosind teoria a patra de rezistenţă în lucrarea [83] se determină efortul unitar echivalent

$$\left(\frac{\sigma_{ech}}{p_I}\right)_{r=R_I} = \sqrt{(c_T k_I)^2 + 3\frac{\beta^2}{\beta^2 - 1}\left(c_T + k_I + \frac{\beta^2}{\beta^2 - 1}\right)}, \tag{3.51}$$

în care

$$c_T = \frac{m\Delta T}{p_i}. \tag{3.52}$$

Mărimea c_T este negativă pentru cazul $T_1 < T_2$.

La raza exterioară, $r = R_2$ eforturile se calculează cu relaţiile:

- datorită presiunii interioare

$$\sigma_r(p) = 0, \tag{3.53}$$

$$\sigma_\theta(p) = \frac{2}{\beta^2 - 1}, \tag{3.54}$$

$$\sigma_z(p) = p_i\frac{1}{\beta^2 - 1}; \tag{3.55}$$

- datorită temperaturii

$$\sigma_r(T) = 0, \tag{3.56}$$

$$\sigma_\theta(T) = m\,k_2\,\Delta T, \tag{3.57}$$

$$\sigma_z(T) = \sigma_\theta(T), \tag{3.58}$$

în care

$$k_2 = \frac{1}{\ln\beta} - \frac{2}{\beta^2 - 1}. \tag{3.59}$$

Efortul unitar echivalent se calculează cu relaţia

$$\left(\frac{\sigma_{ech}}{p_i}\right)_{r=R_2} = \sqrt{(c_T k_2)^2 + \frac{3}{\beta^2 - 1}\left(c_T k_2 + \frac{1}{\beta^2 - 1}\right)}. \tag{3.60}$$

Epura tensiunilor datorită presiunii interioare şi temperaturii poate fi urmărită în *fig.3.68.*

Dacă dilatarea termică a cilindrului nu este împiedicată, corpul se lungeşte cu ΔL

$$\Delta L = \alpha L(T_1 - T_0), \tag{3.61}$$

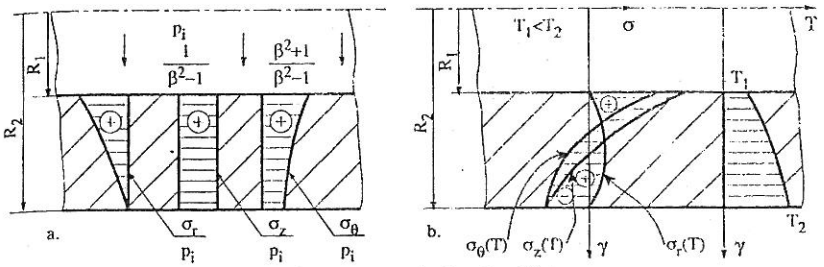


Fig.3.68. Epura tensiunilor în cilindru:
a - epura tensiunilor relative la corpul cilindric cu perete gros supus presiunii interioare;
b - epura tensiunilor termice la corpul cilindric cu perete gros ($T_1 < T_2$).

unde:

- α - coeficient de dilatare liniară;
- L - lungimea corpului
- T_1, T_0 - temperaturi.

Găurile radiale practicate în corpul cilindric determină concentratori de tensiuni. Tensiunea inelară se măreşte de α_k ori, iar σ_r şi σ_z rămân neschimbate. Tensiunea inelară în prezenţa concentratorului se calculează cu relaţia

$$\sigma_\theta^* = \alpha_k\sigma_\theta. \tag{3.62}$$

În acest caz tensiunea echivalentă în zona concentratorului se calculează cu relaţia (teoria a patra de rezistenţă)

$$\sigma_{ech}^* = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_\theta^* - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta^*)^2}. \tag{3.63}$$

Pentru găuri circulare de dimensiuni mici se recomandă $\alpha_k = 2{,}5$ [82, 83]. Valoarea mare a lui α_k impune evitarea străpungerii peretelui cilindric.

Luându-se în considerare presiunea de încercare a cilindrului, temperatura de lucru, condiţiile de exploatare de durată, în [82] se recomandă pentru tensiunea admisibilă

$$\sigma_a = 0{,}66\,\sigma_c^t, \tag{3.64}$$

unde:

- σ_{ct} - limita de curgere a materialului în condiţii de temperatură.

Pentru verificarea cilindrului se impune deci respectarea relaţiei

$$\sigma_{ech} = 0{,}66\,\sigma_c^t. \tag{3.65}$$

Calculul asamblării cilindru - cap cilindru. Asamblarea dintre cilindru şi capul cilindrului (*fig.3.66.a*) se realizează în acest caz prin şuruburi, şuruburi care, în condiţii de solicitare variabilă datorită variaţiei presiunii interioare şi în condiţii de temperatură, trebuie să asigure etanşeitatea asamblării. Temperatura are o mare influenţă asupra echilibrului forţelor din sistemul de prestrângere, datorită modificării caracteristicilor mecanice cât şi prin dilataţiile diferite ale elementelor îmbinării, determinate de temperatura diferită la care se lucrează şi proprietăţile fizice diferite ale fiecărui element.

Forţa care ia naştere în cilindru va fi

$$F_i = p_i\frac{\pi D_I^2}{4}. \tag{3.66}$$

Forţa de exploatare sau forţa de calcul Fc care acţionează asupra unui şurub va fi

$$F_c = \frac{F_i}{n_s}, \tag{3.67}$$

unde:

- n_s - numărul de şuruburi din asamblare.

Se consideră în vederea calculului:

- modulul de elasticitate E constant la o temperatură până la 300°C;
- coeficientul de dilatare liniară a şurubului este mai mic decât al capului cilindrului.

Şurubul este solicitat în acest caz la o forţă axială datorită presiunii interioare din cilindru şi o forţă suplimentară datorată temperaturii. Şurubul trebuie verificat la efortul unitar total

$$\sigma_{tot} = \sigma_c + \sigma_s = \frac{F_c}{A_s} + \frac{F_T}{A_s} \le \sigma_a, \tag{3.68}$$

unde:

- σ_c - efort unitar de calcul;
- σ_s - efort unitar suplimentar datorat temperaturii;
- F_c - forţă de calcul;
- F_T - forţă suplimentară termică;
- A_s - aria şurubului.

Formule de calcul pentru forţa suplimentară termică se prezintă în lucrările de specialitate [82. 84, 85].

Calculul asamblării dintre cap cilindru şi duză (sau cilindru şi duză). În acest caz (*fig.3.66.b*) asamblarea se realizează prin filet. În timpul exploatării filetul este solicitat la o sarcină axială variabilă datorită presiunii interioare din cilindrul de injectare. Se neglijează efectele datorate temperaturii dintre elementele aflate în asamblare. Asamblarea se realizează cu prestrângere, trebuind să asigure etanşarea şi după aplicarea sarcinii axiale. În vederea calculului se consultă *fig.3.69*. Forţa axială care acţionează asupra filetului se calculează cu relaţia (3.66).

Diametrul interior d_1 al filetului se calculează cu relaţia

$$d_1 \ge \sqrt{\frac{4}{\pi}\frac{F_s}{\sigma_{at}}} \tag{3.69}$$

unde:

- F_s - forţa de strângere iniţială;
- σ_{at} - efort unitar admisibil la tracţiune.

Forţa de prestrângere se calculează cu relaţia

$$F_s = F_0 + \chi F_c, \tag{3.70}$$

unde:

- F_0 - forţa de prestrângere iniţială;
- F_c - forţa de calcul conform relaţiei (3.67);
- χ - coeficient.

Forţa de prestrângere iniţială se calculează cu relaţia

$$F_0 = \xi F_c (1 - \chi), \tag{3.71}$$

unde:

- ξ - 2,5...4,0 pentru sarcini variabile;
- χ - 0,2...0,3; limita inferioară recomandându-se pentru şuruburile elastice.

Forţa de prestrângere remanentă F_0 se calculează cu relaţia

$$F_0' = F_0 - (1 - \chi) F_c. \tag{3.72}$$

Pentru asigurarea etanşeităţii este necesar ca

$$F_0' > F_{0\,min}', \tag{3.73}$$

unde

- $F_{0\,min}' = (0.25...0.5)\ F_c$. (3.74)

Efortul unitar admisibil se calculează cu relaţia

$$\sigma_{at} = 0.6\ \sigma_{02}, \tag{3.75}$$

unde:

- σ_{02} - limita de curgere.

Limita de curgere are valori diferite în funcţie de materiai, tratament termic, caracterul asamblării şi tehnologia de prelucrare.

Solicitarea filetului la strivire poate fi calculată cu relaţia

$$p^* = \frac{F_c}{\frac{\pi}{4}(d^2 - d_1^2)z} \le p_a^*, \tag{3.76}$$

unde:

- p^* - efortul unitar de strivire real;
- p_a^* - efortul unitar de strivire admisibil;
- z - numărul de spire în asamblare.

Astfel, pentru şurub şi piuliţă din OL 37 se admite în cazuri uşuşte p_a^* = 300...350 daN/cm^2.

3.2.2.5. Pâlnia de alimentare

Pâlnia de alimentare a unei maşini de injectat este aşezată pe cilindrul maşinii de injectat în zona găurii de alimentare a melcului. Există mai multe variante constructive de pâlnii de alimentare.

În general o pâlnie de alimentare este asemănătoare cu construcţia prezentată în *fig.3.70.*

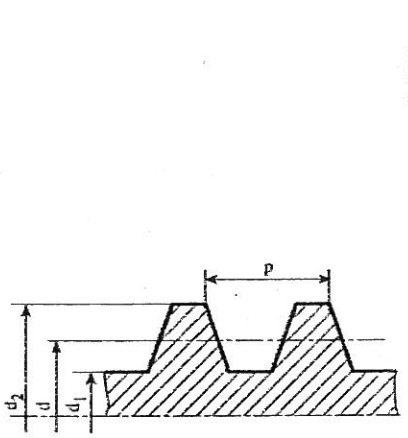


Fig.3.69. **Calculul asamblării filetate: d_1 - diametrul interior al filetului; d_2 - diametrul exterior; d - diametrul mediu; p - pasul filetului.**

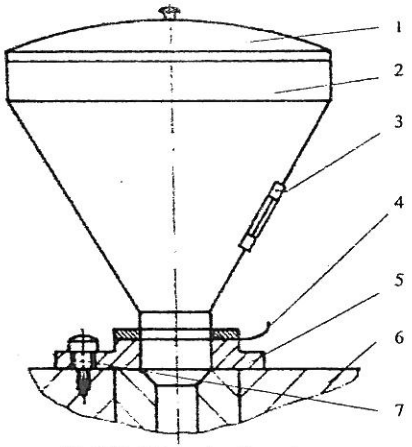


Fig.3.70. **Pâlnia de alimentare: 1 - capac; 2 - corp; 3 - vizor; 4 - şiber; 5 - placă de bază; 6 - masa maşinii; 7 - şurub.**

Pâlnia de alimentare este prevăzută cu un capac *1* care acoperă corpul *2* al pâlniei. În corpul pâlniei este prevăzut un locaş în care se montează vizorul *3* prin care se poate urmări nivelul stratului de granule. Corpul pâlniei se sprijină pe placa de bază *5* prevăzută cu un locaş în care se mişcă şiberul *4*. Cu ajutorul şiberului se permite sau se opreşte curgerea materialului din pâlnia de alimentare în canalul cilindrului. Placa de bază *5* poate pivota în jurul şurubului *7* fixat în corpul unităţii de injectare *6*. Rabatarea pâlniei (cu şiberul închis) se face ori de câte ori este necesar pentru inspecţii în zona de alimentare a cilindrului maşinii sau la golirea pâlniei de material. Pâlnia de alimentare are formă de trunchi de con sau trunchi de piramidă. Materialul din care se confecţionează pâlnia de alimentare este aluminiul sau oţelul inoxidabil.

3.2.2.6. Masa maşinii

Masa maşinii de injectat este un ansamblu mecanic pe care se montează unitatea de injectare, pâlnia de alimentare, aparatura de măsură şi control, etc. Masa maşinii are ca rol principal punerea în legătură a cilindrului de injectare cu matriţa de injectare astfel încât materialul plastic topit din cilindru să ajungă, ca urmare a presiunii de injectare, în matriţa de injectat.

Pentru realizarea rolului său, masa maşinii trebuie să execute operaţiile:

- apropierea cilindrului de injectare de platoul fix al maşinii pe care se află maşina de injectat;
- asigurarea presării duzei maşinii pe duza matriţei, aflată în poziţie închisă, în vederea asigurării etanşeităţii drumului de curgere a materialului plastic din cilindru în matriţă;
- retragerea cilindrului de injectare de platoul fix al maşinii de injectat.

O soluţie constructivă simplificată pentru masa maşinii de injectare este prezentată în *fig.3.71*. Mişcarea mesei se realizează cu ajutorul a două motoare hidraulice liniare *3* fixate solidar cu cilindrii de platoul fix *2*, iar cu tijele *4* a pistoanelor de masa *6* a maşinii.

În cazul în care este necesară scoaterea melcului, masa maşinii se roteşte în jurul unui pivot după desolidarizareă tijelor 4 de masă.

Ghidarea mesei pe batiul maşinii se poate realiza în diferite moduri. În *fig.3.71* este prezentată soluţia constructivă de conducere cu ghidaje laterale, iar în *fig.3.72* ghidarea se face pe coloane. În *fig.3.72* masa *7* a maşinii, aşezată pe suportul *4*, se

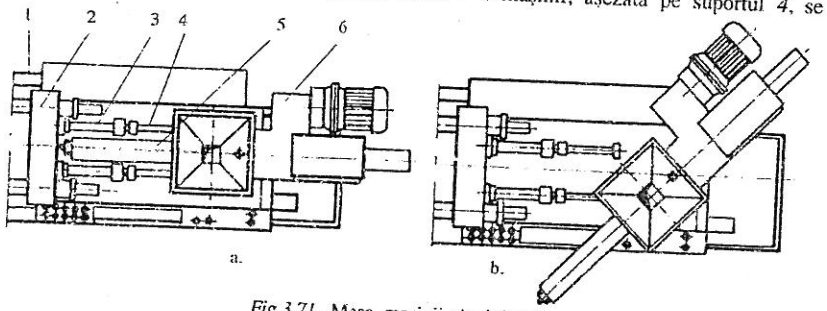


Fig.3.71. Masa maşinii de injectat:
a - poziţie de lucru; b - poziţie rabătută a mesei; 1 - batiu; 2 - platou fix; 3 - cilindru hidraulic; 4 - tijă piston; 5 - cilindru de injectare; 6 - masa.

ghidează prin intermediul bucşelor de ghidare *12* pe coloanele *11* (2 bucăţi). Coloanele *11* se sprijină pe suporţii *9* care se fixează pe batiul maşinii prin şuruburile *10*. Masa maşinii poate pivota în jurul bucşei *8* slăbind şurubul de siguranţă *6* şi desfăcând complet şuruburile de prindere *3* şi *5*.

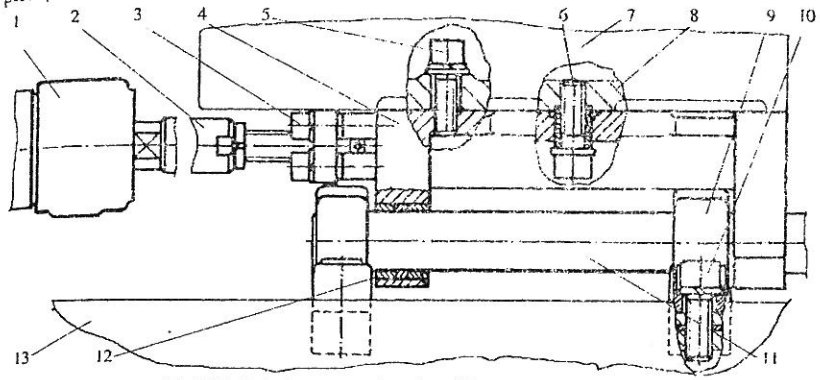


Fig.3.72. Soluţie constructivă de ghidare a mesei maşinii:
1 - cilindru hidraulic; 2 - tijă piston hidraulic; 3 - şuruburi de fixare a tijei de masă; 4 - suport masă; 5 - şurub de fixare masă; 6 - şurub de siguranţă; 7 - masă; 8 - bucşă de pivotare; 9 - suport ghidaj; 10 - şurub; 11 - coloane de ghidare; 12 - bucşă de ghidare; 13 - batiu.

3.3. Unitatea de închidere

Unitatea de închidere - deschidere a unei maşini de injectat se va numi prescurtat „unitate de închidere". Unitatea de închidere a unei maşini de injectat îndeplineşte următoarele funcţii principale:

- realizează închiderea celor două părţi ale matriţei;
- asigură forţa de închidere a matriţei în timpul injectării cu presiune ridicată a materialului plastic în matriţă;
- realizează deschiderea matriţei după solidificarea piesei în matriţă;
- asigură eliminarea piesei injectate din matriţă.

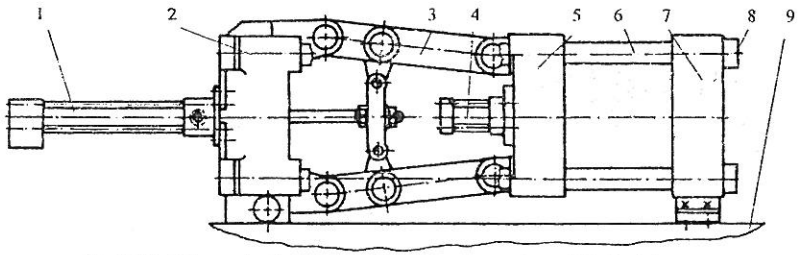


Fig.3.73. Unitate de închidere - deschidere a unei maşini de injectat:
1 - cilindru hidraulic; 2 - platoul de capăt; 3 - mecanism de închidere; 4 - cilindru hidraulic de aruncare; 5 - platou mobil; 6 - coloană de ghidare; 7 - platou fix; 8 - piuliţă; 9 - batiu.

În procesul desfăşurării unui ciclu complet de injectare, unitatea de închidere trebuie să realizeze două deziderate:

- deplasări de închidere şi deschidere rapide pentru creşterea productivităţii;
- deplasări line şi lipsite de şocuri pentru protejarea matriţei.

O unitate de închidere a unei maşini de injectat este prezentată în *fig.3.73*. Părţile principale ale unei unităţi de închidere - deschidere sunt:

- sistemul de închidere;
- sistemul de reglare al cursei de închidere;
- coloanele de ghidare;
- platourile de prindere;
- sistemul de aruncare a piesei din matriţă.

3.3.1. Sistemul de închidere

Din punct de vedere al acţionării, sistemele de închidere pot avea:

- acţionare manuală;
- acţionare electro-mecanică;
- acţionare hidromecanică;
- acţionare hidraulică.

Acţionările manuale se folosesc actualmente numai la maşinile de injectat de capacitate mică pentru probe de laborator.

Acţionările electro-mecanice sunt utilizate la maşinile de capacitate mică şi medie (Battenfeld, Feromatic - Milakron).

Cele mai răspândite sisteme de închidere sunt sistemele hidromecanice şi hidraulice.

3.3.1.1. Sisteme hidromecanice

La aceste sisteme acţionarea este hidraulică, iar închiderea şi deschiderea matriţei se realizează prin elemente constructive mecanice. Aceste sisteme se aplică atât la maşinile mici cât şi la maşinile mari atunci când nu este necesară o cursă mare a platoului mobil.

În *fig.3.74* este prezentată principial o construcţie cu acţionare hidraulică şi mecanică cu pârghii pentru închiderea matriţei. În figură este prezentată de asemenea modalitatea de închidere a liniilor de forţă în cazul în care matriţa este închisă. Prin acţionarea tijei *4* a pistonului hidraulic mecanismul cu pârghii *3* determină mişcarea platoului mobil *6* pe coloanele de ghidare *5* ale sistemului de închidere. Matriţa de injectat *7* se montează între platoul mobil *6* şi platoul fix *8*. Platoul fix 8 se fixează pe coloanele de ghidare cu ajutorul piuliţelor de strângere *9*. Poziţia platoului de capăt, care poate fi reglată, se fixează pe coloanele de ghidare cu ajutorul piuliţelor de reglare *1*. Acest sistem de închidere necesită un reglaj precis al poziţiei relative a celor două platouri (*6* şi *8*) în poziţie închisă a matriţei. Mecanismul cu genunchi simplu acţionează în centrul platoului mobil, ceea ce favorizează riscul deschiderii matriţei dacă aceasta este mai prost echilibrată.

O variantă constructivă îmbunătăţită de sistem de închidere este prezentată în *fig.3.75* [17]. Varianta constructivă aparţine firmei Krauss-Maffei şi foloseşte un sistem de pârghii duble în combinaţii cu pârghii asimetrice de acţionare.

O altă soluţie constructivă de principiu pentru un sistem de închidere cu pârghii este prezentată în *fig.3.76*. Prin acţionarea hidraulică a pistonului *2* din cilindrul *1* mecanismul

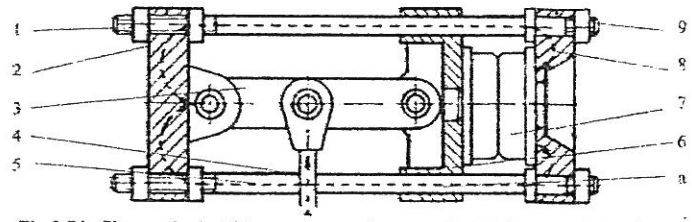


Fig.3.74. Sistem de închidere cu mecanism cu pârghii (genunchi simplu):
1 - piuliţă de reglare; 2 - platoul de capăt; 3 - mecanism cu pârghii;
4 - tija pistonului hidraulic; 5 - coloană de ghidare; 6 - platou mobil; 7 - matriţă;
8 - platou fix; 9 - piuliţă; a - linii de forţă.

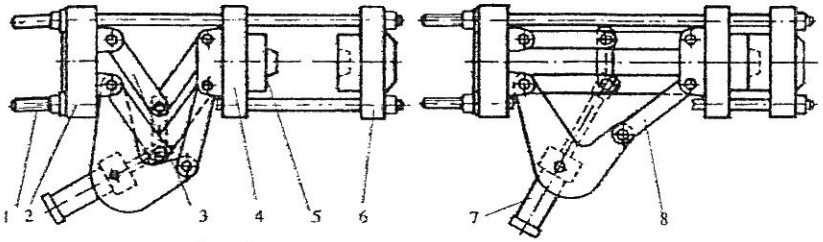


Fig.3.75. Sistem de închidere cu pârghii asimetrice:
1 - coloană de ghidare; 2 - platoul de capăt; 3 - sistem de pârghii simetrice;
4 - platou mobil; 5 - matriţă; 6 - platou fix; 7 - cilindru hidraulic;
8 - sistem de pârghii asimetrice.

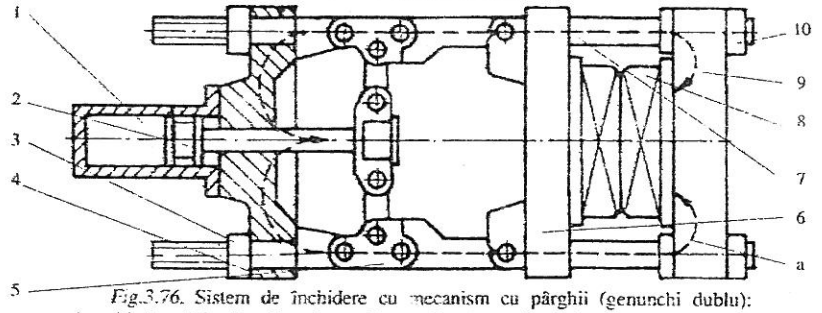


Fig.3.76. Sistem de închidere cu mecanism cu pârghii (genunchi dublu):
1 - cilindru hidraulic; 2 - piston; 3 - piuliţă de reglare; 4 - platou de capăt;
5 - mecanism cu pârghii; 6 - platou mobil; 7 - coloană de ghidare; 8 - matriţă de injectat;
9 - platou fix; 10 - piuliţă de fixare; a - linii de forţă.

cu pârghii *5* determină mişcarea platoului mobil *6* pe coloanele de ghidare *7*. Matriţa *8* se prinde între platoul mobil *6* şi platoul fix *9*. Fixarea platoului fix *9* pe coloane se realizează cu piuliţele *10*, iar reglarea şi fixarea platoului de capăt *4* se realizează cu piuliţele de reglare *3*.

Mecanismul de închidere cu pârghii prezintă simetrie constructivă, forţa de închidere acţionând în patru puncte, ceea ce determină o bună închidere a matriţei şi un reglaj corespunzător al tensiunilor din coloanele de ghidare. O soluţie practică de realizare a mecanismului cu dublu genunchi este prezentată în *fig.3.77*.

O altă soluţie constructivă de sistem de închidere cu pârghii este cea din *fig.3.78*.

Soluţia constructivă este proprie firmei Triulzi [1, 20].

În poziţie deschisă a matriţei o parte a sistemului cu pârghii *4* trece prin gaura practicată în platoul de capăt al maşinii de injectat. Închiderea matriţei se realizează prin deplasarea platoului mobil *5* spre platoul fix *7* cu ajutorul cilindrilor hidraulici *1*. Zăvorârea închiderii se realizează la sfârşitul cursei de închidere prin întinderea braţelor sistemului de pârghii *4* cu ajutorul cilindrului hidraulic suplimentar *3*.

Un alt sistem de închidere este prezentat într-o schemă de principiu în *fig.3.79*. Sistemul este folosit de firma Maurer [17, 19]. Închiderea şi deschiderea matriţei se

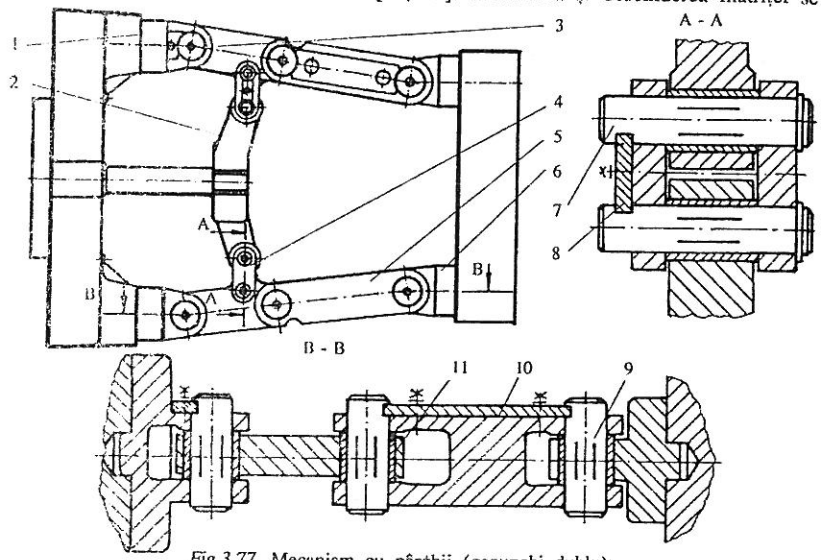


Fig.3.77. Mecanism cu pârghii (genunchi dublu):
1 - suport fix; 2 - suport de presiune; 3 - pârghie scurtă; 4 - pârghie intermediară; 5 - pârghie lungă; 6 - suport mobil; 7 - bolţ intermediar; 8 - placă de fixare; 9 - bolţ; 10 - placă de fixare; 11 - bucşă.

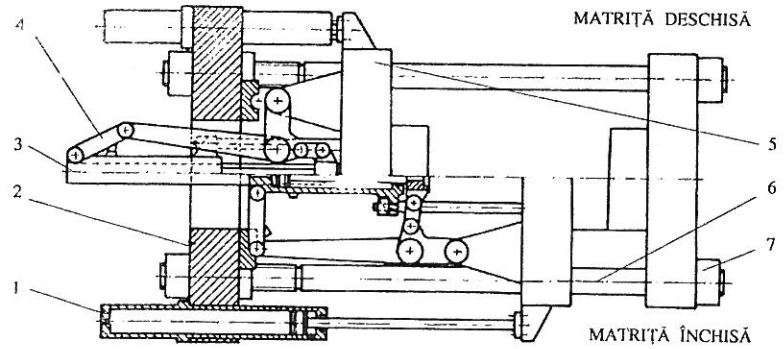


Fig.3.78. Sistem de închidere cu pârghii:
1 - cilindru hidraulic de închidere; 2 - platou de capăt; 3 - cilindru de zăvorâre; 4 - sistem de pârghii; 5 - platou mobil; 6 - coloană de ghidare; 7 - platou fix.

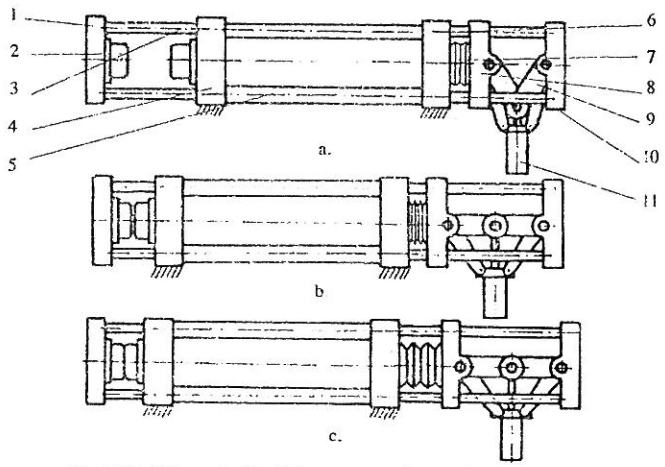


Fig.3.79. Sistem de închidere cu membrană de presiune:
a - matriţă deschisă; b - matriţă închisă fără presiune; c - matriţă închisă cu presiune; 1 - platou fix; 2 - matriţă; 3 - coloane interioare; 4 - platou mobil; 5 - coloane exterioare; 6 - platou de presiune; 7 - manşon de protecţie; 8 - platou intermediar; 9 - mecanism cu genunchi simplu; 10 - platou de capăt; 11 - cilindru hidraulic.

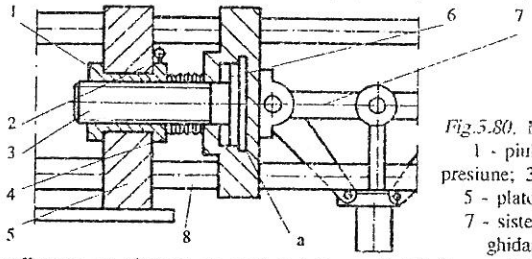


Fig.5.80. Mecanism de zăvorâre - reglare: 1 - piuliţa de reglare; 2 - platou de presiune; 3 - tijă; 4 - manşon de protecţie; 5 - platou intermediar; 6 - membrană; 7 - sistem de pârghii; 8 - coloană de ghidare; a - cameră de presiune.

realizează cu ajutorul mecanismului cu pârghii (genunchi simplu) *9* acţionat de cilindrul hidraulic *11*. Prin întinderea sistemului de pârghii *9* ansamblul mobil (platou mobil *4*, coloane exterioare *5*, platou de presiune *6*) se deplasează pe coloanele interioare *3* spre platoul fix *1*; astfel se realizează închiderea matriţei. Zăvorârea la închidere a matriţei se realizează la sfârşitul cursei de închidere prin punerea sub presiune hidraulică a membranei de închidere.

Sistemul de închidere cu membrană este prezentat schematic în *fig.3.80* [17]. Prin aplicarea presiunii hidraulice în camera de presiune a, membrana *6* exercită cu ajutorul tijei filetate *3* presiune asupra piuliţei de reglare *1* şi platoului de presiune *2*. Platoul de presiune solidar cu platoul mobil al maşinii, prin intermediul coloanelor exterioare *8*, realizează zăvorârea. Prin intermediul piuliţei *1* se reglează înălţimea de montare a matriţei.

3.3.1.2. Sisteme hidraulice

La aceste sisteme acţionarea este hidraulică, iar închiderea şi deschiderea matriţei se realizează de asemenea cu un element de execuţie hidraulic. Sistemele hidraulice sunt

recomandate pentru forţe de închidere mari şi curse mari ale platoului mobil. În general în aceste cazuri se folosesc două circuite hidraulice: unul de joasă presiune pentru închidere şi al doilea de înaltă presiune pentru zăvorârea matriţei. Există mai multe soluţii constructive de realizare a acestui sistem [1, 2, 11, 13].

O astfel de construcţie este prezentată în *fig.3.81* [1, 11]. Presiunea hidraulică generată de o pompă acţionează alternativ pe o parte şi alta a pistonului *2* al cilindrului hidraulic *1*. Pistonul *2* este solidar cu platoul intermediar *3* şi platoul mobil *5*. Prin mişcarea platoului mobil pe coloanele de ghidare *4* se realizează închiderea şi deschiderea matriţei de injectare *6*. Cu ajutorul presiunii hidraulice se realizează şi presiunea de închidere a matriţei în procesul de injectare. Soluţia constructivă prezentată are dezavantajul că presiunea de închidere se exercită pe o arie mică în centrul platoului de prindere, soluţie care limitează posibilitatea injectării unor piese de suprafaţă mare.

O soluţie constructivă de sistem hidraulic de închidere este prezentată şi în *fig.3.82* [13, 21]. Matriţa de injectat se montează între platoul mobil *5* şi platoul fix *6* al maşinii de injectat. Cursa de închidere şi de deschidere a matriţei de injectat se realizează cu ajutorul cilindrului hidraulic rapid *10* care foloseşte un debit redus de ulei. Forţa de închidere necesară matriţei se realizează cu ajutorul cilindrului hidraulic *2* de suprafaţă mare care foloseşte un debit mare de ulei. Rezervorul de ulei *1*, plasat deasupra unităţii de închidere, preia sarcina unei pompe hidraulice. La începutul cursei de închidere a matriţei, cilindrul hidraulic rapid *10* este pus sub presiune, uleiul sub

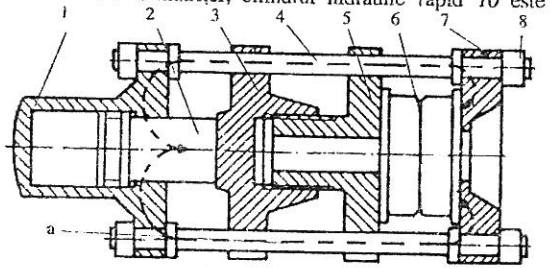


Fig.3.81. Sistem de închidere hidraulic:
1 - cilindru hidraulic; 2 - tijă piston; 3 - platou intermediar; 4 - coloane de ghidare; 5 - platou mobil; 6 - matriţă; 7 - platou fix; 8 - piuliţă de fixare; a - linii de forţă.

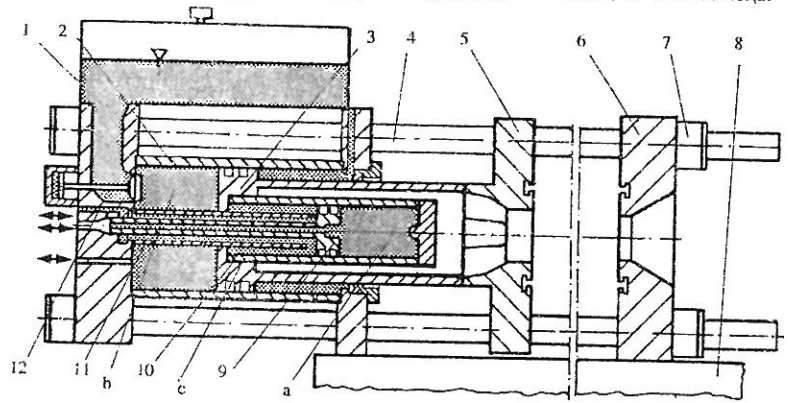


Fig.3.82. Sistem de închidere hidraulic:
1 - rezervor hidraulic; 2 - cilindru hidraulic; 3 - piston de închidere; 4 - coloane de ghidare; 5 - platou mobil; 6 - platou fix; 7 - piuliţă; 8 - şasiu; 9 - piston; 10 - cilindru rapid; 11 - cilindru; 12 - supapă; a, b, c - spaţii de lucru.

presiune de la pompă pătrunde în cavitatea *a*. Supapa *12* se deschide şi uleiul din rezervorul *1* umple spaţiul *b* al cilindrului hidraulic *2*. Forţa de închidere a matriţei se realizează numai după închiderea supapei *12* ca urmare a pătrunderii în spaţiul *b* a uleiului hidraulic sub presiune de la pompă. Ca urmare a presiunii uleiului pe suprafaţa pistonului *3* se realizează forţa de închidere. După injectare, încetarea acţiunii forţei de închidere se realizează prin deschiderea supapei *12*. Deschiderea matriţei se realizează prin acţionarea cu ajutorul presiunii hidraulice a cilindrului de cursă rapidă *10* în spaţiul de lucru *c*.

Un sistem de închidere cu acţionare hidraulică este prezentat în *fig.3.83* [1, 2, 10, 11]. În platoul de capăt *2* este fixat prin înfiletare cilindrul *1* cu ajutorul cărora se stabileşte distanţa dintre platoul fix *10* şi platoul mobil *7*, în funcţie de înălţimea matriţei. În interiorul cilindrului *1* se găseşte un piston mobil *3* şi un piston fix *6*. Alimentarea cu ulei sub presiune a camerelor *y* şi *z* se realizează prin găurile practicate în pistonul fix *6*. Dacă se trimite ulei sub presiune în camera *y* pistonul mobil *3* se deplasează până la închiderea completă a matriţei. Pistonul *3* este zăvorât în poziţie finală prin acţiunea pistoanelor hidraulice *4* care fixează semiinelele *5* în capătul tijei pistonului. Forţa de strângere a matriţei se realizează prin trimiterea uleiului sub presiune în camera *x*, astfel încât platoul mobil *7* se deplasează în direcţia strângerii matriţei. Deformarea

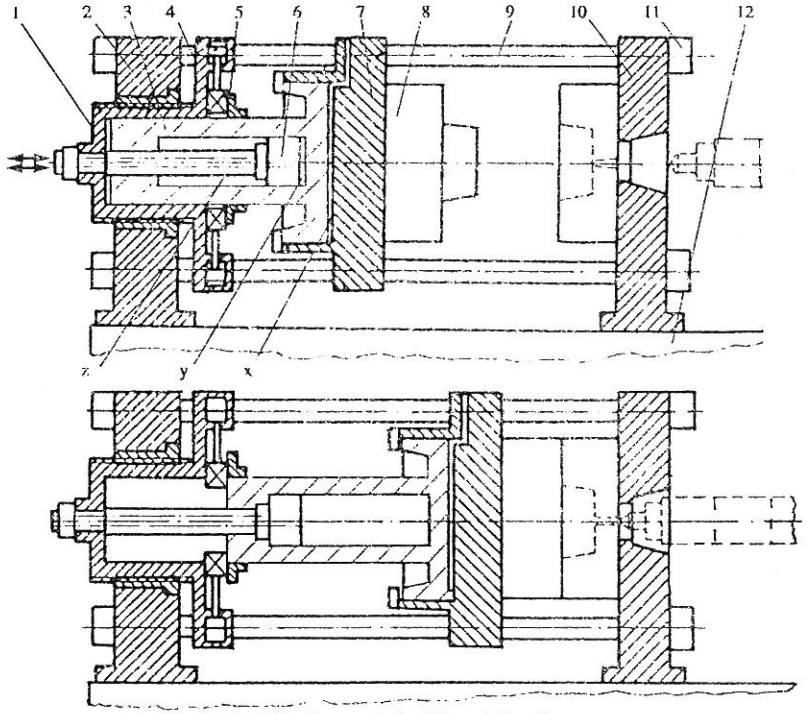


Fig.3.83. Sistem de închidere hidraulic:
1 - cilindru hidraulic; 2 - platou de capăt; 3 - piston mobil; 4 - piston; 5 - semiinel; 6 - piston fix; 7 - platou mobil; 8 - matriţă; 9 - coloană de ghidare; 10 - platou fix; 11 - piuliţă de fixare; 12 - batiu; x, y, z - camere.

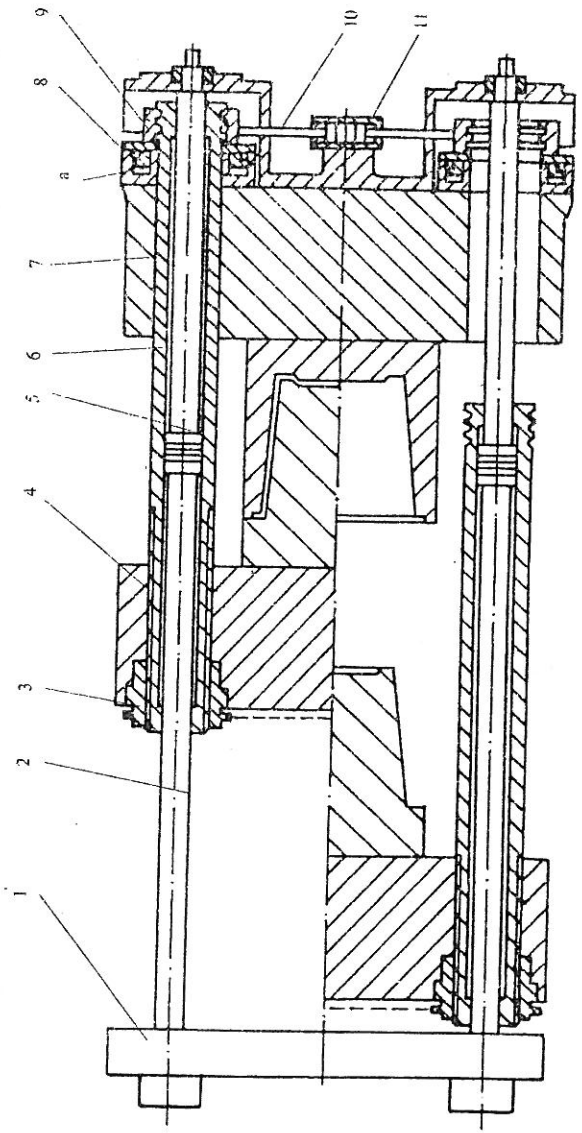


Fig.3.84. Sistem de închidere la o maşină de injectat de mare capacitate:
1 - platou de capăt; 2 - coloană de ghidare; 3 - bucşă de reglare; 4 - platou mobil; 5 - piston; 6 - tirant; 7 - platou fix;
8 - cilindru hidraulic; 9 - zăvor; 10 - tijă de acţionare zăvor; 11 - cilindru hidraulic; a - spaţiu de presiune.

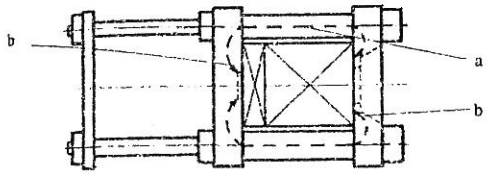


Fig.3.85. Fluxul liniilor la un sistem de închidere:
a - linii de forţă; b - zona de distribuţie a forţei de închidere.

elastică a matriţei determină o deplasare corespunzătoare a platoului fix care alunecă pe batiu. Acest sistem constructiv reduce la minimum consumul de ulei de presiune înaltă.

Construcţia din *fig.3.84* a fost dezvoltată pentru maşini mari, destinate obţinerii unor piese injectate de arie mare şi adâncime mare [1, 2, 10, 11]. Patru tiranţi tubulari asigură închiderea matriţei. Aceştia sunt construiţi ca cilindri hidraulici, cu dublă acţiune, pistoanele *5* fiind solidarizate cu coloanele *2*. Acestea sunt fixate pe de o parte în platoul fix *7* şi pe de altă parte în platoul de capăt *1*. Alimentarea uleiului sub presiune pe o faţă sau pe cealaltă a pistonului se face prin canalele prevăzute în coloane. Sistemul evită utilizarea unor racorduri flexibile sub presiune înaltă. La sfârşitul cursei de închidere, capetele tiranţilor tubulari *6* depăşesc suprafaţa exterioară a platoului fix *7*. Fiecare dintre aceste capete este prevăzut cu trei şanţuri inelare. În aceste şanţuri pătrund zăvoarele *9* comandate hidraulic. Forţa de închidere se realizează trimiţând ulei sub presiune în camerele *a* prin care cilindrii hidraulici de cursă *8* exercită presiune asupra platoului fix *7* care are posibilitatea unei mici deplasări în vederea realizării închiderii matriţei. Înălţimea de montare a matriţei se reglează mecanic prin rotirea bucşelor filetate *3* cu ajutorul unor roţi de lanţ. Prin înfiletarea bucşelor *3* pe tiranţii *6* se realizează deplasarea longitudinală pe coloane a platoului mobil *4*.

În comparaţie cu alte sisteme, acest sistem constructiv reduce considerabil lungimea liniilor de forţă ale închiderii, ceea ce conferă o rigiditate mai mare sistemului. Acest lucru poate fi urmărit în schema de principiu prezentată în *fig.3.85*. În literatura de specialitate sunt prezentate şi alte sisteme de închidere hidraulică [1, 11, 17, 18].

3.3.1.3. Studiul forţelor de închidere şi deschidere

Productivitatea procesului de injectare, calitatea piesei injectate sunt influenţate într-o mare măsură de fenomenele ce ţin de forţele de deschidere în matriţă, precum şi de caracteristicile mecanice ale sistemului de închidere a maşinii.

3.3.1.3.1. Forţa de deschidere în matriţă

Sistemul de închidere al maşinii de injectat trebuie să dezvolte o forţa destul de mare pentru a împiedica deschiderea matriţei sub acţiunea presiunii materialului plastic care se injectează. În cazul în care această cerinţă nu este satisfăcută, grosimea pereţilor piesei injectate este mai mare decât cea prevăzută şi, în plus, piesa se obţine cu bavuri.

Studiul fenomenului de curgere a materialului plastic în matriţă a fost prezentat în detaliu în cadrul capitolului 2. Se consideră o cavitate în care materialul plastic curge printr-un ajutaj (*fig.3.86*). Presiunea în matriţă, în lungul traseului de curgere, evoluează după o ecuaţie exponenţială [2, 22]

$$p_x = p_0 \, e^{-k_1 x}, \tag{3.77}$$

unde:

- p_x - presiunea topiturii la distanţa x faţă de orificiul de intrare;

- p_0 - presiunea topiturii la $x = 0$;
- k_1 - coeficient.

Valorile coeficientului k_1 variază între valorile:
- 0,035 - pentru temperaturi de injectare de 280°C;
- 0,060 - pentru temperaturi de injectare de 200°C.

Forța care tinde să desfacă cele două jumătăți ale matriței (*fig.3.87*) se poate calcula cu relația [22]

unde:
$$F_d = k_2 p_0 A_{ep}, \tag{3.78}$$

- F_d - forța de deschidere din matriță;
- A_{ep} - aria efectivă a proiecției piesei injectate pe planul de separație al matriței;
- k_2 - coeficient ce ține cont de agregatul de plastifiere.

Valori recomandate pentru materiale termoplastice:
- agregat de plastifiere cu piston $k_2 = 0,3...0,5$;
- agregat de plastifiere cu melc $k_2 = 0,5...0,7$.

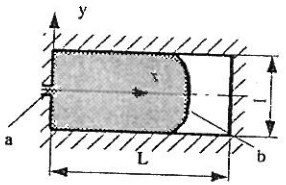


Fig.3.86. Curgerea schematică a materialului plastic în cavitatea matriței:
a - ajutaj;
b - front de curgere.

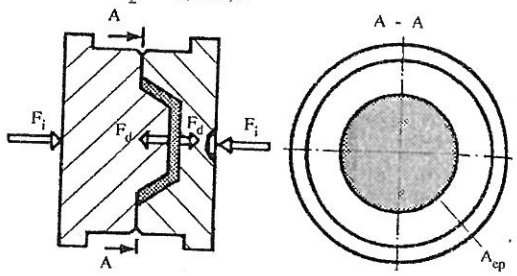


Fig.3.87. Forța de deschidere în matriță:
F_d - forța de deschidere; F_i - forță de închidere; A_{ep} - aria efectivă a proiecției piesei pe planul de separație al matriței.

3.3.1.3.2. Forța de închidere a mecanismului

Pentru ca matrița să nu se deschidă sub acțiunea forței de deschidere generată de presiunea interioară, trebuie ca mecanismul sistemului de închidere să opună o forță numită *forță de închidere* (*fig.3.87*).

Studiul forței de închidere la o mașină de injectat se face pe sistemul de închidere cu genunchi simplu (*fig.3.88*) [13, 23, 24]. Forța de deschidere din matriță trebuie să fie echilibrată de o forță din exterior creată de mecanismul de închidere, numită forță de închidere. Această forță are o valoare maximă, care trebuie menținută constantă în timpul injectării, astfel încât să se realizeze echilibrarea forței de deschidere creată de matriță. La mașinile de injectat se creează o forță suplimentară cu ajutorul sistemului constructiv al închiderii, astfel încât să se obțină o forță de menținere superioară forței de deschidere

$$F_m > F_d. \tag{3.79}$$

Forța de menținere se obține cu relația

unde:
$$F_m = F_i + F_s, \tag{3.80}$$

- F_i - forță de închidere;
- F_s - forță suplimentară.

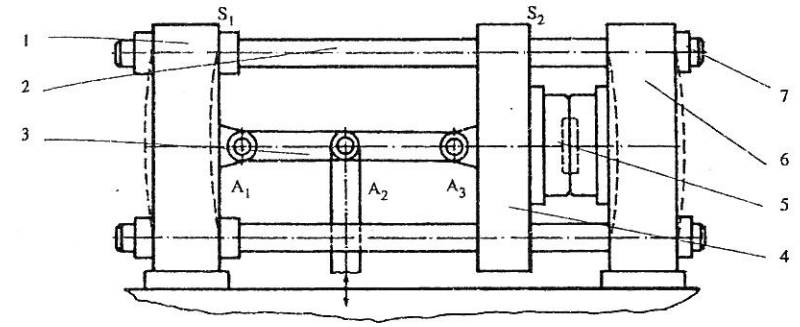


Fig.3.88. Sistemul de închidere hidromecanic cu genunchi:
1 - platou de capăt; 2 - coloană de ghidare; 3 - mecanism cu genunchi; 4 - platou mobil; 5 - matriță; 6 - platou fix; 7 - piulițe de strângere;
A_1, A_2, A_3 - articulațiile mecanismului de închidere;
S_1, S_2 - suprafețele de sprijin ale mecanismului.

Pentru a studia mișcarea mecanismului de închidere cu genunchi simplu se simplifică întregul sistem la schema din *fig.3.89*. Poziția platoului mobil *2* este determinată de poziția articulațiilor A_1, A_2, A_3. În poziția închisă a matriței, suprafața S_2 a platoului mobil este determinată de poziția A_1 - A_2 - A_3 a articulațiilor sistemului de pârghii.

La închiderea matriței, care reprezintă domeniul mișcării rapide a platoului de prindere, articulația centrală străbate arcul de cerc A_2'- A_2'', astfel încât poziția S_2'' a platoului de prindere este caracterizată de poziția A_1 - A_2'' - A_3'' a articulațiilor mecanismului de închidere. În această poziție cele două semimatrițe se suprapun, însă fără presiune. Închiderea completă se realizează atunci când articulațiile A_1, A_2, A_3 se găsesc pe aceeași dreaptă (poziția S_2 a platoului de prindere mobil). Deoarece în poziția A_1 - A_2'' - A_3'' semimatrițele se ating, mișcarea articulației centrale A_2'' - A_2 se poate efectua numai pe seama alungirii coloanelor. Din acest motiv platoul mobil se deplasează pe distanța A_3'' - A_3, din poziția S_2'' în poziția S_2. Întregul sistem de închidere poate fi asimilat cu un sistem elastic format din mai multe corpuri elastice (*fig.3.90*).

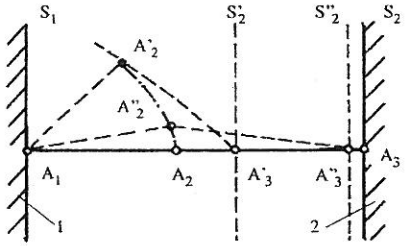


Fig.3.89. Schema mecanismului de închidere cu genunchi simplu:
A_1, A_2, A_3 - pozițiile articulațiilor la închiderea completă; A_2'', A_3'' - pozițiile articulațiilor cu matrița închisă fără presiune; A_2', A_3' - pozițiile articulațiilor cu matrița deschisă; S_1 - suprafața platoului de capăt; S_2, S_2', S_2'' - poziții ale suprafeței platoului mobil; 1 - platou de capăt; 2 - platou mobil.

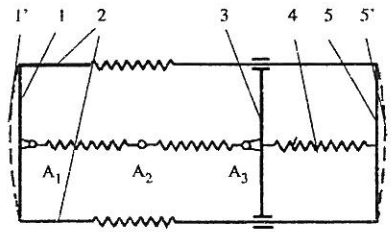


Fig.3.90. Sistemul de închidere considerat ca sistem elastic:
1 - platou de capăt; 2 - coloane de ghidare; 3 - platou mobil; 4 - matriță; 5 - platou fix; A_1, A_2, A_3 - pozițiile articulațiilor sistemului de închidere; 1', 5' - pozițiile deformate ale platourilor

Deformarea elastică a matriței de injectat este prezentată în cap.6.14.4.

Datorită faptului că elementele care compun sistemul de închidere se deformează elastic sub sarcină, forța F_i cu care mecanismul strânge cele două semimatrițe la capătul cursei nu este aceeași cu forța de închidere finală F_m exercitată asupra matriței după ce materialul plastic pătrunde în cavitatea matriței. După ce topitura pătrunde în matriță ia naștere forța de deschidere F_d dată de relația (3.78).

În aceste condiții, se produc deformările sistemului elastic considerat (*fig.3.91*). Se iau în considerare alungirile coloanelor sub sarcină, deformarea platoului de capăt și a platoului fix al mașinii, precum și deformarea matriței de injectat.

Se cunoaște formula de calcul a unui arc atunci când există mai multe elemente de arc asociate. Se poate scrie pentru forța de închidere (*fig.3.91.b*)

$$F_i = \frac{\sum f_n}{\sum \frac{1}{c_n}} \tag{3.81}$$

unde:

- f - săgeata;
- c - constanta elastică a arcului.

Se poate scrie

$$\sum f_n = f_c + f_1 + f_2 + \ldots\ldots = f_i, \tag{3.82}$$

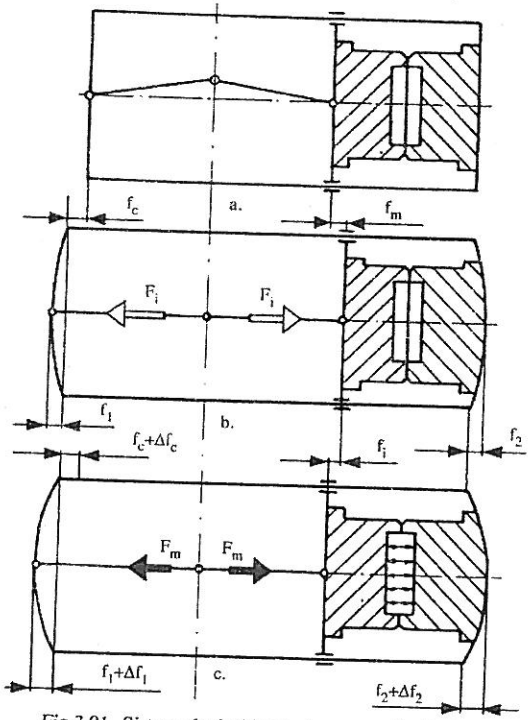


Fig.3.91. Sistem de închidere cu genunchi simplu:
a - semimatrițe în contact fără aplicarea forței de închidere; b - închiderea matriței cu aplicarea forței de închidere; c - injectarea materialului plastic în matriță.

unde:

- f_c - săgeata coloanelor de ghidare;
- f_1 - săgeata platoului de capăt;
- f_2 - săgeata platoului fix;
- f_i - săgeata tuturor elementelor de închidere.

Forța de menținere se calculează cu relația (*fig.3.91.c*)

$$F_m = \frac{\sum f_n + \sum \Delta f_n}{\sum \frac{1}{c_n}}. \tag{3.83}$$

Se poate scrie

$$\sum \Delta f_n = \Delta f_c + \Delta f_1 + \Delta f_2 + \ldots\ldots, \tag{3.84}$$

unde:

- Δ_{fc} - săgeata suplimentară la coloanele de ghidare;
- Δ_{f1} - săgeata suplimentară la platoul de capăt;
- Δ_{f2} - săgeata suplimentară la platoul fix.

Deformația totală a matriței după injectarea materialului plastic în matriță va fi

$$f_m = \sum \Delta f_n. \tag{3.85}$$

Expresia (3.83) se mai poate scrie

$$F_m = \frac{\sum f_n}{\sum \frac{1}{c_n}} + \frac{\sum \Delta f_n}{\sum \frac{1}{c_n}} = \frac{\sum f_n}{\sum \frac{1}{c_n}} \left(1 + \frac{\sum \Delta f_n}{\sum f_n}\right). \tag{3.86}$$

Ținând seama de expresiile (3.81), (3.82) și (3.85) se poate scrie în final expresia pentru forța de menținere

$$F_m = F_i \left(1 + \frac{f_m}{f_i}\right). \tag{3.87}$$

În *fig.3.92* este prezentată diagrama deformațiilor elastice ale sistemului luat în considerare. Din diagramă se observă că forța de închidere depinde de două criterii:

- construcția matriței;
- construcția sistemului de închidere.

Cu cât matrița care se montează în mașina de injectat este mai rigidă, cu atât forța de închidere este mai mare. Deoarece forța de închidere influențează calitatea piesei injectate, aceasta se va regla la porniri și în situații limită. O forță de închidere în scădere

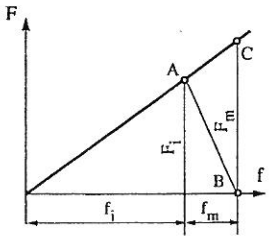


Fig.3.92. Diagrama deformațiilor elastice: F_i - forța de închidere; F_m - forța de menținere; f_m - săgeata matriței; f_i - săgeata elementelor sistemului de închidere.

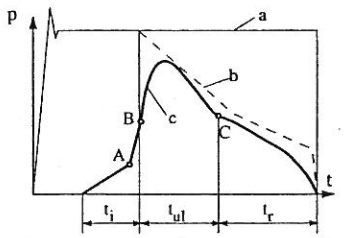


Fig.3.93. Programarea descrescătoare a forței de închidere: a - fără presiune de închidere; b - presiune de închidere programată descrescător; c - presiunea interioară în matriță; A - punct de umplere; B - punct de cuplare; C - punct de sigilare; t_i - timp de injectare; t_{ul} - timp de presiune ulterioară; t_r - timp de răcire.

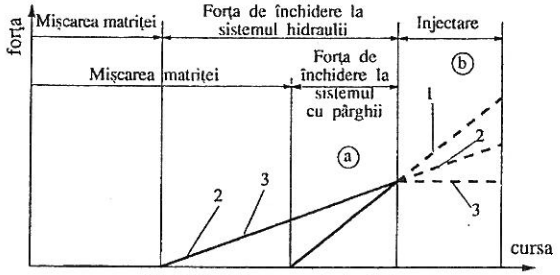


Fig.3.94. Diagrama de închidere:
1 - mecanism cu articulaţii; 2 - mecanism hidraulic cu zăvorâre;
3 - mecanism hidraulic simplu; a - forţa de închidere maximă; b - forţa de menţinere maximă.

liniară, acordată cu o scădere a presiunii în interiorul matriţei, permite, la repere complicate, un demulaj mai uşor ca urmare a unei contracţii de material puţin împiedicate (*fig.3.93*) [28].

În funcţie de construcţia sistemului de închidere, forţa de închidere şi forţa de menţinere sunt în diferite raporturi (*fig.3.94*) [18]. Din diagramă se observă că, în cazul închiderii hidraulice cu alimentare ulterioară cu ulei pentru realizarea forţei de închidere, forţa de menţinere este aceeaşi cu forţa de închidere.

La sistemele constructive cu articulaţii şi închiderea hidraulică cu zăvorâre, forţa de închidere este deosebită de forţa de menţinere.

În cazul mecanismului cu pârghii, se poate calcula forţa de menţinere cu relaţia

unde: $$F_m = (1{,}2 \ldots 1{,}3) F_d \qquad (3.88)$$

- F_d - forţa de deschidere din matriţă care este calculată cu relaţia (3.78).

3.3.1.3.3. Forţa de deschidere a mecanismului

Prin *forţă de deschidere* se înţelege forţa eliberată de unitatea de închidere a maşinii de injectat în procesul de deschidere al matriţei. Forţa de deschidere are influenţă asupra posibilităţilor de producţie a unei maşini de injectat. Forţa de deschidere a unei maşini de injectat cu acţionare hidraulică este uşor de determinat atunci când, în timpul procesului de deschidere,suprafaţa activă a pistonului este cunoscută şi presiunea uleiului poate fi măsurată cu un manometru. În schimb, măsurarea forţei de deschidere a maşinilor de injectat cu sistem de închidere cu pârghii prezintă dificultăţi.

Forţa de deschidere F_o. În timp ce, la maşinile de injectat dotate cu sisteme de închidere acţionate hidraulic, forţa de deschidere este constantă, aceasta însă se modifică la maşinile cu sistem de închidere cu braţe articulate (*fig.3.95*) [24].

Forţa nominală de deschidere F_{on} este forţa ce apare la deschiderea unităţii de închidere, care anterior a fost sub influenţa unei forţe de închidere maximă $F_{i\ max}$ (*fig.3.96*). Forţa nominală este mai mică decât forţa de deschidere care este elaborată atunci când înainte forţa de închidere $F_i = 0$ şi braţele articulate au fost aduse în poziţie întinsă. Această legătură poate fi simplu arătată atunci când se reprezintă într-o diagramă forţa de deschidere şi închidere în dependenţă de drumul de deschidere (*fig.3.96*). Prin drumul de închidere $h = 0$ trebuie să se înţeleagă că semimatriţele încă nu s-au atins, că braţele articulate sunt în poziţie întinsă şi că avem o forţă de închidere $F_i = 0$. Până la atingerea forţei $F_{i\ max}$, creşte forţa de închidere şi scade forţa de deschidere,

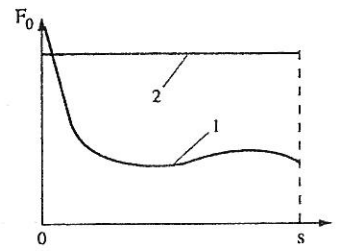


Fig.3.95. Forţa de deschidere în funcţie de cursa de deschidere:
1 - mecanism cu articulaţie; 2 - mecanism de închidere hidraulic; S - drum de deschidere; F_0 - forţa de deschidere.

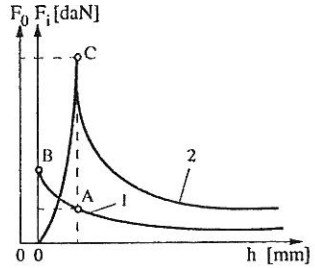


Fig.3.96. Forţa de deschidere şi forţa de închidere în funcţie de drumul de deschidere:
1 - diagrama $F_0 = f(h)$; 2 - diagrama $F_i = f(h)$.
Punctele din diagramă corespund: A - forţa nominală la deschidere; B - forţa de deschidere la $F_i = 0$; C - forţa maximă de închidere;
h - drum de deschidere.

o dependenţă de mare importanţă în practică.

Forţa de deschidere corespunzătoare forţei de închidere maximă $F_{i\ max}$ este forţa nominală de deschidere F_{on}. Dacă şi după atingerea forţei de închidere maximă, mărim în continuare drumul de deschidere, atunci braţul articulat nu mai apasă, forta de închidere scade brusc. Dependent de geometria braţului articulat scade şi forţa de deschidere, care la drum de deschidere mare poate să crească uşor.

Forţa de deschidere poate fi măsurată prin mai multe metode [24]:
- cu tijă de măsurare;
- cu bloc de testare prin măsurarea alungirii coloanelor.

Dispozitivul pentru măsurarea forţei de deschidere este prezentat în *fig.3.97*. Pe cele două platouri de prindere *2* şi *8* se fixează două discuri *3* care sunt fixate pe platouri cu şuruburile *6*. Între cele două discuri se fixează tija *1* cu ajutorul unor piuliţe de prindere *5*. Tija este filetată spre partea de deschidere pe o porţiune mai mare decât cursa de deschidere. Pe tijă se fixează două mărci tensiometrice lipite una în faţa celeilalte, decalate cu 180°. Cu ajutorul mărcilor tensiometrice şi a unui aparat traductor se realizează măsurarea forţei de deschidere în diferite locuri ale cursei de deschidere.

3.3.2. Sistemul de reglare a cursei de închidere

La o maşină de injectat este strict necesară reglarea distanţei între platoul mobil şi platoul fix ca urmare a folosirii matriţelor de injectat care au înălţime diferită. Există mai multe metode de reglare.

3.3.2.1. Reglarea mecanică

Există mai multe variante constructive de reglare a cursei de închidere la o maşină de injectat.

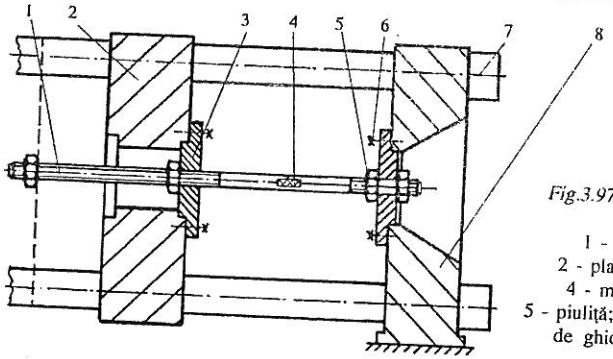


Fig.3.97. Măsurarea forţei de deschidere:
1 - tija de măsurare; 2 - platou mobil; 3 - inel; 4 - marcă tensiometrică; 5 - piuliţă; 6 - şurub; 7 - coloane de ghidare; 8 - platou fix.

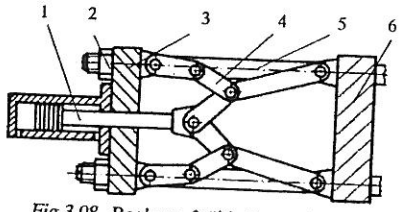


Fig.3.98. Reglarea înălţimii matriţei prin deplasarea platoului de capăt:
1 - cilindru hidraulic; 2 - piuliţă de reglare; 3 - platou de capăt; 4 - mecanism de închidere; 5 - coloană de ghidare; 6 - platou mobil.

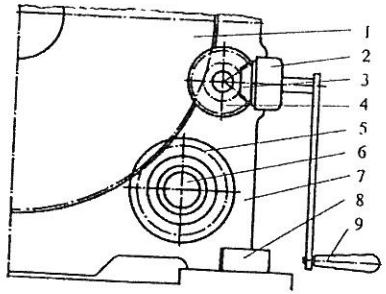


Fig.3.99. Mecanism de reglare a înălţimii cu acţionare manuală:
1 - roată dinţată centrală; 2 - suport; 3 - roată dinţată conică; 4 - roată dinţată conică; 5 - roată dinţată; 6 - coloană de ghidare; 7 - platou de capăt; 8 - ghidaj; 9 - manivelă.

Deplasarea pe coloane a platoului de capăt *(fig.3.98).* Pentru reglarea înălţimii matriţei, platoul de capăt *3* se deplasează pe coloanele de ghidare *5*, prin reglarea piuliţelor *2* pe capetele filetate ale coloanelor de ghidare. O dată cu deplasarea platoului de capăt se realizează deplasarea mecanismului de închidere *4* şi a platoului de prindere *6*.

Reglarea piuliţelor se realizează prin diferite mecanisme. Astfel, în *fig.3.99* rotirea piuliţelor se realizează simultan cu ajutorul unui sistem de roţi dinţate. Prin acţionarea manuală a manivelei *9* se roteşte pinionul conic *3* care antrenează roata conică *4* solidară cu o roată dinţată cilindrică cu dinţi drepţi; aceasta antrenează roata dinţată *1* care angrenează roţile dinţate *5*, solidare cu piuliţele filetate, care se deplasează pe capetele filetate ale coloanelor de ghidare *6*. Astfel platoul de capăt *7* se deplasează pe coloane, determinând reglarea înălţimii matriţei.

În afara acţionării manuale cu manivele se practică şi sistemul de acţionare cu motor electric şi reductor melc-roată melcată sau acţionare prin motor hidraulic rotativ.

Antrenarea celor patru piuliţe de reglare se poate realiza şi printr-o transmisie cu lanţ. Pentru maşinile mici, acţionarea se poate face manual printr-o manivelă care este în legătură cu un reductor melc-roată melcată, prin intermediul căruia se acţionează lanţul. În majoritatea cazurilor, la sistemul de rotire cu lanţ, se foloseşte acţonarea electrică sau prin hidromotor. În *fig.3.100* este prezentat cazul unui sistem de reglare cu

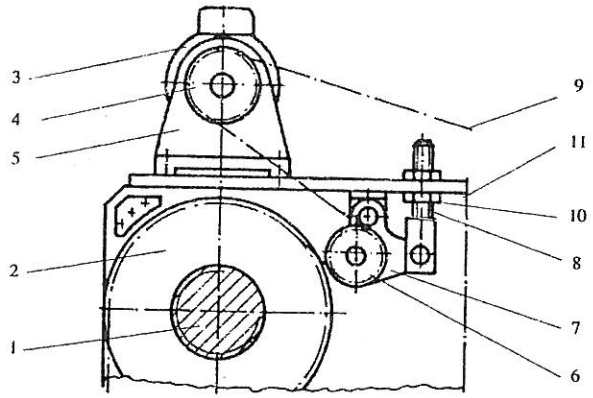


Fig.3.100. Mecanism de reglare a închiderii cu acţionare electrică:
1 - coloană de ghidare; 2 - roată de lanţ; 3 - motor electric; 4 - roată de lanţ antrenoare; 5 - reductor; 6 - roată de întindere; 7 - levier; 8 - şurub de reglare; 9 - lanţ; 10 - piuliţă; 11 - platou de capăt.

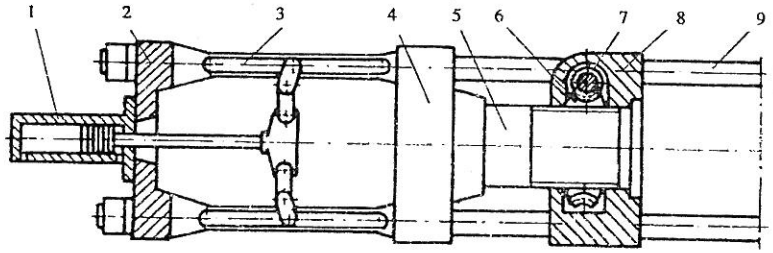


Fig.3.101. Mecanism de reglare a închiderii cu şurub central:
1 - cilindru hidraulic; 2 - platou de capăt; 3 - mecanism de închidere; 4 - platou intermediar; 5 - şurub central; 6 - roată melcată; 7 - melc; 8 - platou mobil; 9 - coloane de ghidare.

lanţ folosit la o maşină de mare capacitate. Lanţul *9* antrenat de motorul electric *3*, prin intermediul reductorului *5*, trece peste roata întinzătoare *6* şi determină rotirea roţii de lanţ *2* solidară cu piuliţa filetată care se mişcă pe coloana de ghidare *1* cu capetele filetate. Întinderea lantului se realizează cu ajutorul roţii *6* fixată pe levierul *7* care poate fi reglat cu şurubul *8* şi piuliţa *10*.

Reglarea cursei prin rotaţia unui şurub de antrenare *(fig.3.101).* Acţionarea acestui sistem se realizează cu ajutorul unui motor electric sau hidromotor care transmite mişcarea melcului de acţionare *7*. Prin angrenarea cu melcul *7*, roata melcată *6* se roteşte şi se deplasează pe filetul şurubului central *5*, determinând deplasarea platoului mobil pe ghidajele *9*. Şurubul *5* este solidar cu platoul intermediar 4, mecanismul de închidere *3* şi platoul de capăr *2*.

3.3.2.2. Reglarea hidraulică

Mecanismul de reglaj hidraulic a înălţimii de reglare a cursei de închidere *(fig.3.102)* foloseşte cilindrul hidraulic *1* montat pe platoul de capăt *3*. Pistonul *2* este

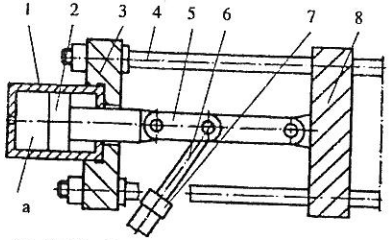


Fig.3.102. Reglarea hidaulică a închiderii: 1 - cilindru hidraulic; 2 - piston; 3 - platou de capăt; 4 - coloană de ghidare; 5 - mecanism de închidere; 6 - tijă piston; 7 - cilindru hidraulic; 8 - platou mobil.

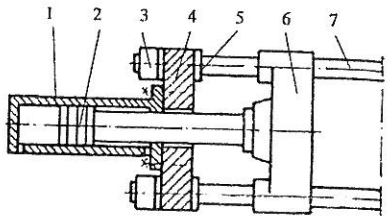


Fig.3.103. Închidere pur hidraulică: 1 - cilindru hidraulic; 2 - piston hidraulic; 3 - piuliță de reglare; 4 - platou de capăt; 5 - contrapiuliță; 6 - platou mobil; 7 - coloane de ghidare.

pus în legătură prin intermediul unei articulații de mecanismul de închidere cu pârghii *5*. Acționarea mecanismului de închidere *5* se realizează cu ajutorul tijei *6* a cilindrului hidraulic de acționare *7*. În timpul injectării, în cilindrul hidraulic *1* în camera a se exercită presiunea uleiului hidraulic care asigură poziția închisă a matriței de injectat. Prin poziționarea pistonului *2* în cilindrul hidraulic *1*, piston solidar cu mecanismul *5* și platoul mobil *8*, se asigură reglarea cursei de închidere.

3.3.2.3. Reglarea cursei la închiderile pur hidraulice

Reglarea cursei de închidere la sistemele pur hidraulice se realizează automat în funcție de înălțimea matriței (*fig.3.103*). Platoul mobil *6* se mișcă pe coloanele de ghidare *7* sub acțiunea tijei pistonului hidraulic *2*. Reglarea cursei de închidere se realizează automat în funcție de cursa pistonului în cilindrul hidraulic *1*. În funcție de înălțimea matriței se realizează o poziționare a platoului de capăt *4* pe coloanele de ghidare *7* cu ajutorul piulițelor filetate *3* și *5*. Acest sistem este întâlnit și în *fig.3.82*.

3.3.3. Coloanele de ghidare și platourile de prindere

O mare importanță asupra calității constructive a unei mașini de injectat o au coloanele de ghidare și platourile de prindere. Un ansamblu format din coloanele de

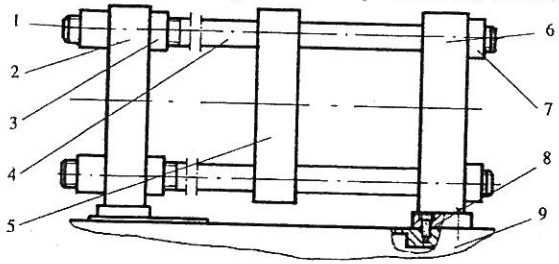


Fig.3.104. Ansamblu format din coloane de ghidare și platouri: 1 - piuliță de fixare; 2 - platou de capăt; 3 - contrapiuliță; 4 - coloană de ghidare; 5 - platou mobil; 6 - platou fix; 7 - piuliță de fixare; 8 - șurub de fixare; 9 - batiu.

ghidare și platourile mașinii este prezentat în *fig.3.104*. Acest ansamblu se sprijină pe batiul *9* al mașinii de injectat. Platoul fix *6* este asamblat de batiul mașinii prin intermediul șuruburilor *8*. Platoul de capăt *2* are posibilitatea să se miște pe batiul mașinii în funcție de poziția de reglare stabilită pentru cursa de închidere. Coloanele de ghidare *4* sunt fixate între platoul de capăt *2* și platoul fix cu ajutorul unor piulițe *1*, *3* și *7*. Între platoul de capăt *2* și platoul fix *6*, se mișcă pe ghidajele mașinii platoul mobil *5* acționat de sistemul de închidere al mașini.

3.3.3.1. Coloanele de ghidare

O mașină de injectat este dotată cu două sau patru coloane de ghidare. Două coloane de ghidare se folosesc numai pentru mașinile mici. Coloanele de ghidare se consideră ca bare încastrate la capete în platoul de capăt și platoul fix. Ele transmit forțe de închidere între platouri în funcție de sistemul de închidere (*fig.3.74, fig.3.76, fig.3.81, fig.3.85*), fiind solicitate în principal la întindere datorită forței de închidere maxime (*fig.3.105*).

Din cauza toleranțelor elementelor de construcție care compun ansamblul coloane de ghidare-platouri, și în special al mecanismului de închidere, nu se poate realiza ca la o mașină de injectat toate coloanele să fie solicitate în aceeași măsură. Îndeosebi la mașinile de injectat cu articulații se poate întâmpla, chiar dacă nu a fost atinsă forța de închidere maxim admisibilă, una sau mai multe coloane să fie solicitate mai mult decât celelalte.

Ruperea coloanelor de ghidare la o mașină de injectat care are mecanism de închidere cu articulații (genunchi simplu) poate apărea în următoarele cazuri [25]:

- atingerea limitei rezistenței la oboseală a oțelului din care este confecționată coloana;
- suprasolicitarea uneia sau mai multor coloane.

Suprasolicitarea unei coloane apare când:

- forța de menținere admisă este atinsă și, datorită solicitării inegale, unele coloane sunt suprasolicitate;
- forța de menținere admisă este depășită ca valoare. Chiar dacă coloanele de

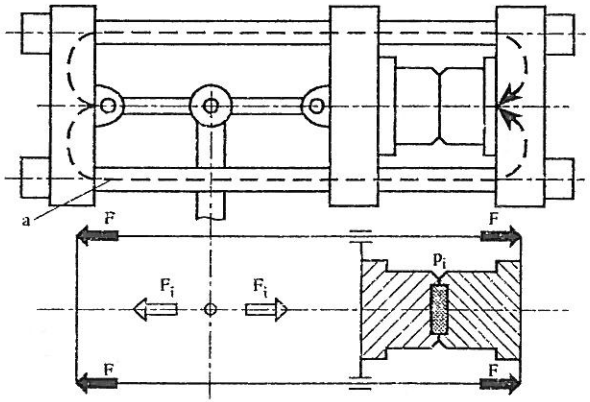


Fig.3.105. Fluxul liniilor de forță și forțele care iau naștere în coloane la sistemul de închidere cu genunchi simplu: F_i - forța de închidere; F - forța de întindere din coloană; p_i - presiunea interioară din matriță; a - fluxul liniilor de forță.

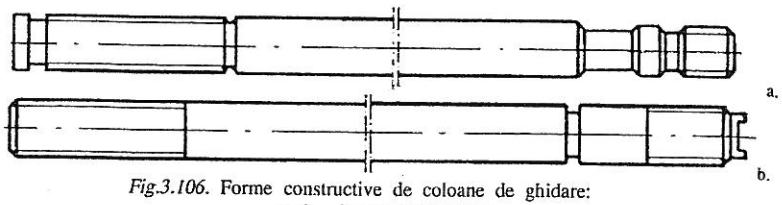


Fig.3.106. Forme constructive de coloane de ghidare:
a, b - forme constructive.

ghidare sunt solicitate în mod egal ele sunt suprasolicitate.

Ca solicitare maximală a coloanelor F_{max} este înțeleasă solicitarea cea mai mare care poate să apară la o mașină de injectat, atunci când apare forța maximală de închidere $F_{i\ max}$.

Se consideră că apare suprasolicitarea atunci când cel puțin la o coloană apare

unde: $$F_{max} > F_a\,, \tag{3.89}$$

- F_{max} - forța maximă din coloană;
- F_a - forța admisibilă din coloană atunci când se manifestă forța de menținere admisibilă F_{max}.

Solicitarea din coloane se determină cu relația [29]

unde: $$\sigma = \frac{F}{A_c} + \frac{M_i}{0{,}1 d_c} \le \sigma_a\,, \tag{3.90}$$

- F - forța de întindere din coloană;
- A_c - secțiunea coloanei de ghidare;
- M_i - momentul încovoietor datorat forțelor din ghidajele platoului mobil;
- d_c - diametrul coloanei;
- σ_a - rezistența admisibilă.

Coloanele de ghidare au diferite forme constructive (*fig.3.106*). La cele două capete coloanele de ghidare sunt filetate cu filet trapezoidal sau la mașinile mari cu filet fierăstrău. Filetul servește pentru fixarea sau reglarea platoului de capăt sau a platoului fix.

Coloanele se execută din oțeluri carbon de calitate sau oțeluri aliate cu suprafața exterioară rectificată.

3.3.3.2. Platoul fix și platoul mobil

Platoul fix al mașinii este așezat în partea cilindrului de injectare. În platou se fixează două sau patru coloane de ghidare cu ajutorul unor piulițe filetate. În general, platoul se obține prin turnare din oțel cu nervuri de rigidizare pentru a rezista la solicitările de încovoiere la care este supus în timpul injectării. În zona centrală, platoul este prevăzut cu o gaură prin care poate pătrunde cilindrul de injectare în vederea stabilirii legăturii dintre duza mașinii și duza matriței.

Suprafața pentru prinderea matriței este rectificată, fiind prevăzută cu canale în formă de T (*fig.3.107*), găuri filetate (*fig.3.108*) sau găuri trecătoare pentru elementele de prindere ale matriței de injectat. În zona centrală se găsește o degajare pentru inelul de centrare al părții fixe a mașinii de injectat.

Există mai multe soluții constructive de fixare a coloanelor de ghidare în platou (*fig.3.109*). În *fig.3.109.a*, în platoul fix *2* se introduce coloana de ghidare *1* care prin intermediul șaibei *3* și a piuliței *4* este strânsă în platou. Piulița *4* despicată este strânsă

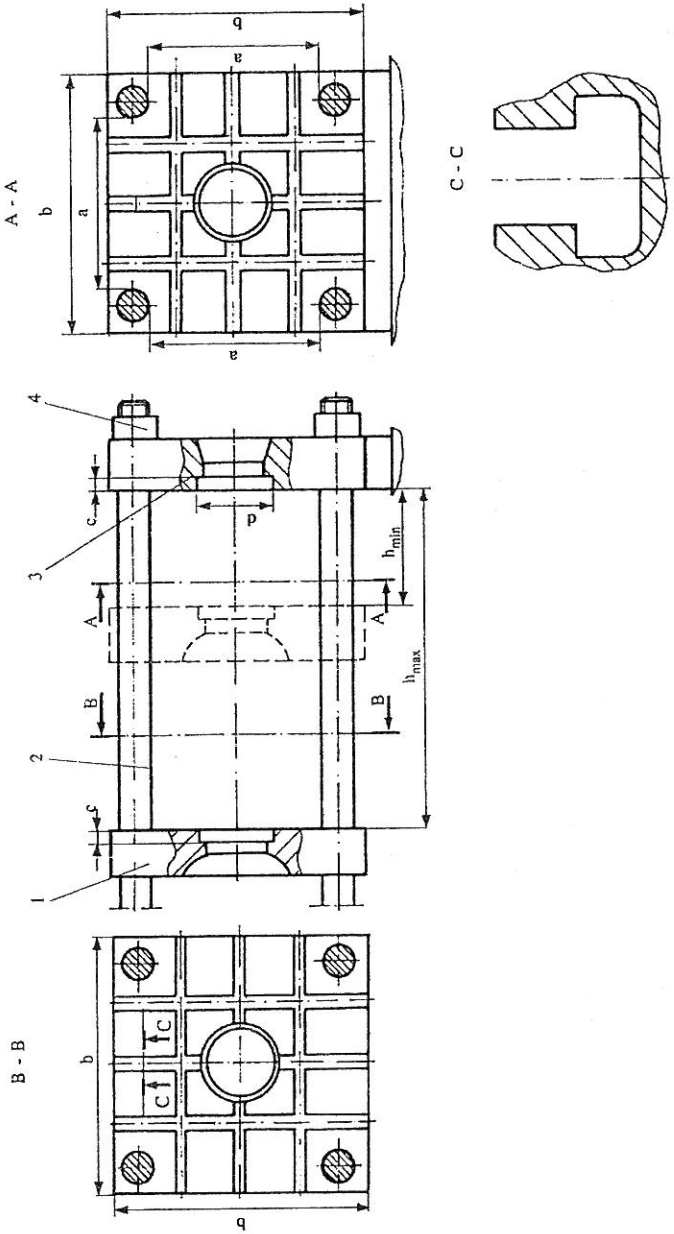


Fig.3.107. Ansamblu constructiv coloane de ghidare - platouri:
1 - platou mobil; 2 - coloană de ghidare; 3 - platou fix; 4 - piuliță de fixare; a - distanța dintre coloane; b - dimensiune platou;
c - adâncimea găurii de centrare; d - diametrul găurii de centrare; h_{min}, h_{max} - înălțimea minimă și maximă de montare a matriței.

pe filetul coloanei cu ajutorul şurubului *5*. Centrarea coloanei în platou se realizează cu ajutorul unui manşon. În *fig.3.109.b* este prezentată o soluţie constructivă asemănătoare. În *fig.3.109.c* este prezentată o soluţie constructivă care se aplică la maşinile de mare capacitate cu coloane de ghidare cu diametru mare. Filetul din capătul coloanei este un filet trapezoidal cu pas mare, (p = 10 mm). Piuliţa *7* şi contrapiuliţa *8* sunt fixate cu ajutorul ştifturilor de centrare *9*. Piuliţa de fixare *8*, de diametru mare, este prevăzută cu două găuri care permit numai o anumită poziţie la montare. Datorită pasului mare *1* al filetului, cele patru piuliţe de fixare, prin strângere pe coloane, pot fi aşezate numai în poziţia care determină aşezarea lor în acelaşi plan.

Platoul mobil al maşinii se mişcă în coloanele de ghidare fiind acţionat de mecanismul de închidere (*fig.3.107*). Platoul se mişcă pe două sau patru coloane de ghidare.

În general, platoul se confecţionează din oţel turnat cu nervuri de rigidizare pentru a rezista la solicitarea de încovoiere la care este supus în timpul procesului de injectare. Suprafaţa pentru prindere a matriţei este rectificată, fiind prevăzută cu canale în formă de T (*fig.3.107*), găuri filetate sau găuri de trecere pentru elemente de prindere ale matriţei. În zona centrală, platoul este prevăzut cu o gaură de centrare pentru inelul părţii mobile a matriţei de injectat.

În vederea optimizării formei platourilor, acestea sunt calculate prin metoda elemen-

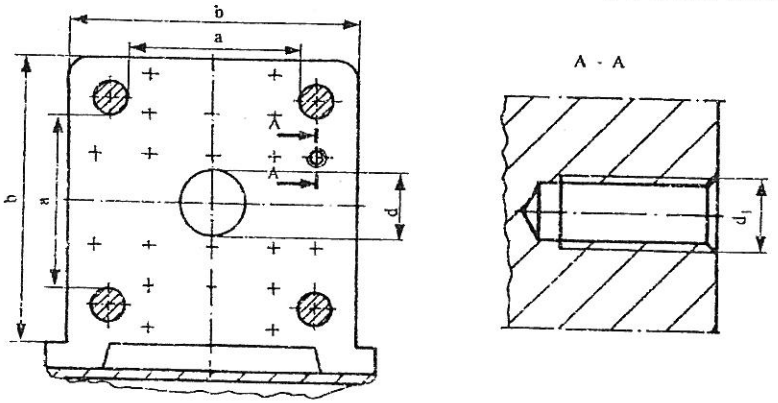


Fig.3.108. Platou fix: a - distanţa dintre coloane; b - dimensiune platou; d - diametrul găurii de centrare; d_1 - diametrul găurii filetate

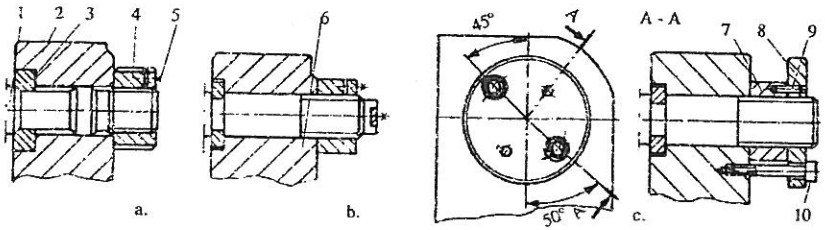


Fig.3.109. Ansamblare între coloană şi platoul fix:
a, b. c - soluţii constructive; 1 - coloană de ghidare; 2 - platou fix; 3 - şaibă; 4 - piuliţă despicată; 5 - şurub; 6 - tijă de fixare; 7 - piuliţă; 8 - piuliţă de fixare; 9 - ştift de centrare; 10 - şurub de fixare.

telor finite cu ajutorul calculatorului (*fig.3.110*) [28]. La maşinile mari se realizează şi o sprijinire suplimentară a platoului mobil pe ghidaje (*fig.3.111*). Aceste ghidaje care au şi sprijin lateral ale platoului mobil au ca efect o uzură mai redusă a matriţelor. La maşini foarte mari placa mobilă este sprijinită pe lagăre hidrodinamice [28].

Platoul mobil alunecă pe coloanele de ghidare cu ajutorul unor bucşe confecţionate din textolit sau bronz (*fig.3.112*). Zona de alunecare între bucşa de ghidare şi coloanele de ghidare este recomandabil să fie unsă. Ungerea fiecărui ghidaj poate să se facă:

- individual, cu ajutorul unei pompe manuale, prin intermediul unui racord (*fig.3.112.b*);
- în comun, cu ajutorul unei pompe manuale centrale care e în legătură cu ghidajele prin conducte de legătură.

Pe platoul mobil se montează suplimentar sistemul de aruncare hidraulic şi placa cu came pentru comanda electrică.

Paralelitatea dintre cele două platouri are o mare influenţă asupra păstrării dimensiunii reperelor injectate [25]. Neparalelitatea platourilor de prindere duce la diferenţieri de perete la piesele în formă de disc sau placă de dimensiuni mari, sau neuniformităţi de perete la reperele în formă de pahar sau tub de înălţime mare (*fig.1.113*). Platourile cu neparalelitate mare au o influenţă asupra întregii unităţi de închidere, iar coloanele vor fi neuniform solicitate ca urmare a tendinţei de poziţionare în paralel a coloanelor.

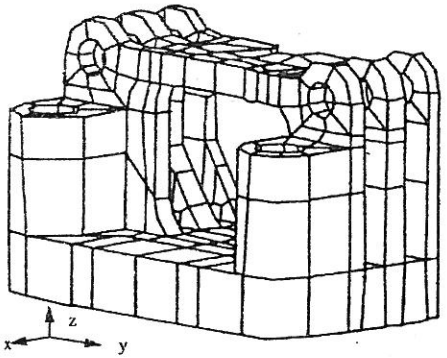


Fig.3.110. Modelul obţinut prin metoda elementelor finite a părţii superioare a platoului mobil.

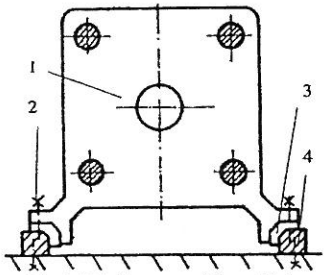


Fig.3.111. Patou mobil sprijinit:
1 - platou mobil; 2 - şurub de prindere; 3 - ghidaj platou; 4 - ghidaj batiu.

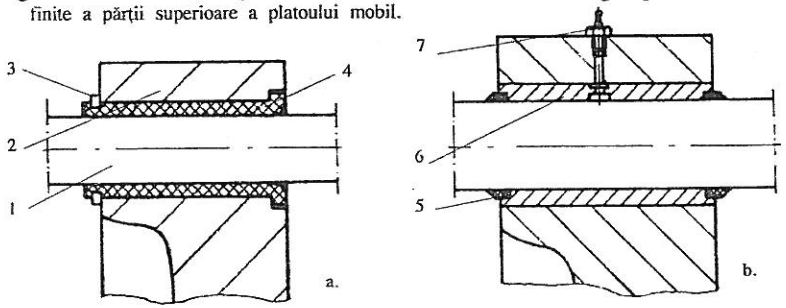


Fig.3.112. Ghidarea platoului mobil:
a. b - soluţii constructive; 1 - coloană de ghidare; 2 - platou mobil; 3 - inel elastic; 4 - bucşă textolit; 5 - buză racloare; 6 - bucşă din bronz; 7 - racord de ungere.

3.3.3.3. Platoul de capăt

Platoul de capăt al maşinii este sprijinit pe batiul maşinii, pe ghidaje, pe care poate să se mişte acţionat de sistemul de reglare al cursei de închidere. Prin platou trec două sau patru coloane de ghidare (*fig.3.114*). Mişcarea platoului pe coloane se face pe bucşe de ghidare confecţionate din bronz. Platoul are o construcţie turnată din oţel. Există diferite construcţii în funcţie de sistemele de închidere.

Pe platou se montează, în funcţie de varianta constructivă, alte elemente: cilindrul hidraulic al sistemului de închidere, sistemul de închidere, mecanismul de reglare a cursei de închidere, etc.

Unii constructori au introdus sisteme de închidere care nu folosesc coloane de ghidare între platouri (*fig.3.115*) [51]. Acest sistem are marele avantaj de a crea o mare accesibilitate în zona de lucru a matriţei şi de asemenea uşurinţă la montarea şi demontarea matriţei. Pe cadrul de închidere *8* sunt asamblate prin sudură cele două platouri de capăt *2* şi *7* de construcţie specială.

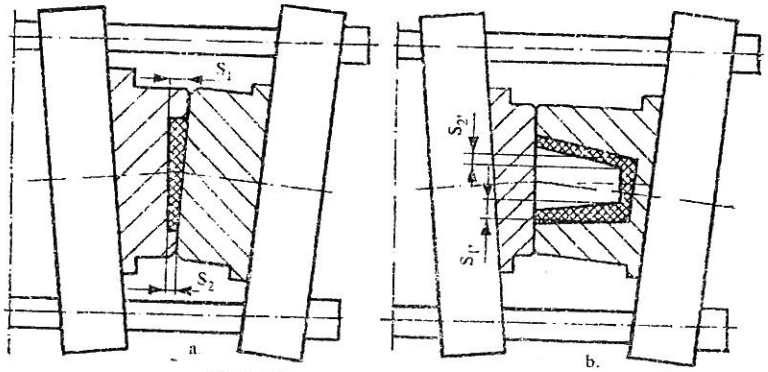


Fig.3.113. Neparalelitatea platourilor:
a - piese plane mari ($S_2<S_1$); b - piese adânci ($S_2<S_1$).

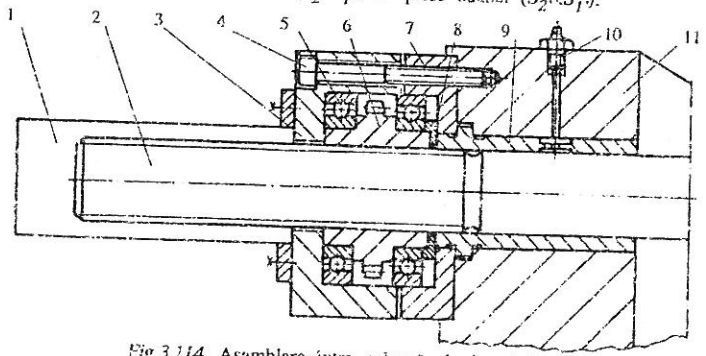


Fig.3.114. Asamblare între coloană şi platoul fix:
1 - apărătoare coloană; 2 - coloană; 3 - semicarcasă; 4 - şurub de prindere; 5 - rulment; 6 - roată de lanţ; 7 - semicarcasă; 8 - distanţier; 9 - bucşă de ghidare; 10 - racord de ungere; 11 - platou de capăt.

3.3.4. Sistemul de aruncare

În timpul cursei de închidere trebuie realizată şi aruncarea piesei injectate din matriţă. Sistemul de aruncare mecanic foloseşte pentru acţionarea mecanismului de aruncare al matriţei forţa de deschidere a maşinii (*fig.3.116*). Pe traversa *1*, fixată pe coloanele de ghidare *3*, se înşurubează dispozitivul de aruncare *2*. În timpul cursei de deschidere platoul mobil *4* împreună cu semimatriţa mobilă *6*, se deplasează spre dispozitivul de aruncare *2*. Spre sfârşitul cursei de deschidere, tija de aruncare *5* a matriţei tamponează dispozitivul de aruncare *2* şi astfel mecanismul de aruncare al matriţei este acţionat.

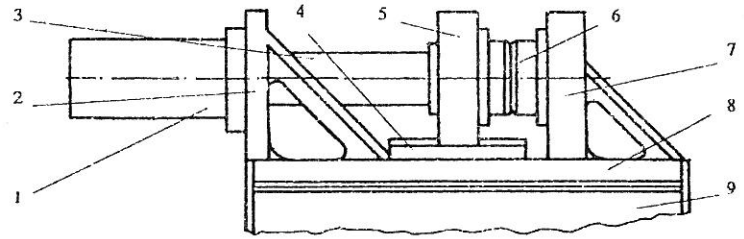


Fig.3.115. Sistem de închidere fără coloane:
1 - cilindru hidraulic de închidere; 2 - platou de capăt; 3 - tijă piston; 4 - ghidaj; 5 - platou mobil; 6 - matriţă; 7 - platou de capăt; 8 - cadru de închidere; 9 - batiu.

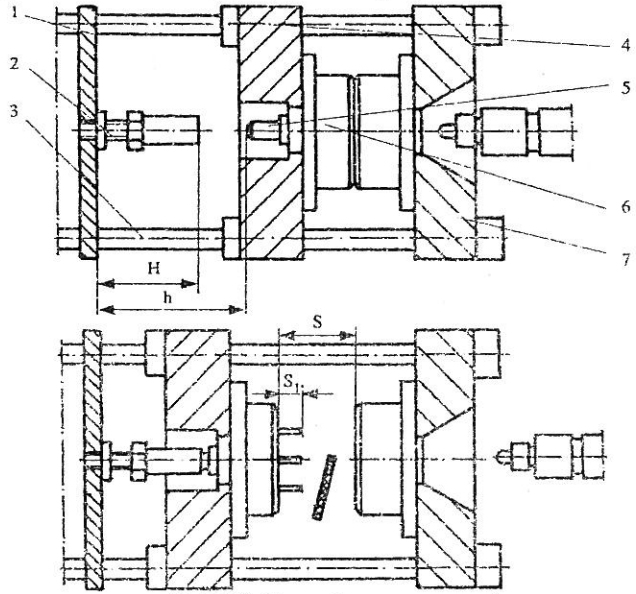


Fig.3.116 Sistem de aruncare mecanic:
1 - traversă fixă; 2 - dispozitiv de aruncare; 3 - coloană de ghidare; 4 - platou mobil; 5 - tijă de aruncare; 6 - semimatriţă mobilă; 7 - platou fix.

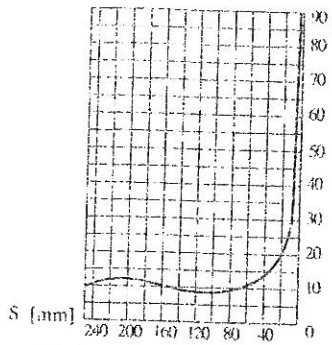


Fig.3.117. Diagrama forței de aruncare la o mașină de injectare cu mecanism de închidere cu articulații (Kuasy 160):
F_a - forța de aruncare;
S - cursa de deschidere a matriței.

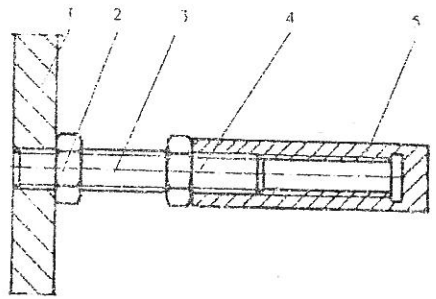


Fig.3.118. Dispozitiv de aruncare:
1 - traversă fixă; *2* - contrapiuliță; *3* - tijă filetată; *4* - contrapiuliță; *5* - tampon.

Înălțimea *H* a dispozitivului de aruncare, se calculează cu relația

unde:
$$H \leq h + S_1 - S, \tag{3.91}$$

- h - distanța dintre traversă și capul tijei de aruncare a matriței;
- S_1 - cursa de aruncare în funcție de înălțimea piesei din matriță;
- S - cursa de deschidere a matriței.

Diagrama forței de aruncare în funcție de cursa de deschidere a matriței, la o matriță de injectare cu sistem de închidere cu articulații, este prezentată în *fig.3.117.* Dispozitivul de aruncare este prezentat în *fig.3.118.* Tija *3* se înșurubează în traversa fixă *1* și se asigură cu contrapiulița *2.* Pe tija filetată *3* se înșurubează tamponul *5* care este asigurat într-o anumită poziție cu contrapiulița *4.*

Sistemul de aruncare cu acționare hidraulică prezintă avantaje față de cel mecanic:
- permite executarea cursei de aruncare după deschiderea completă a matriței;

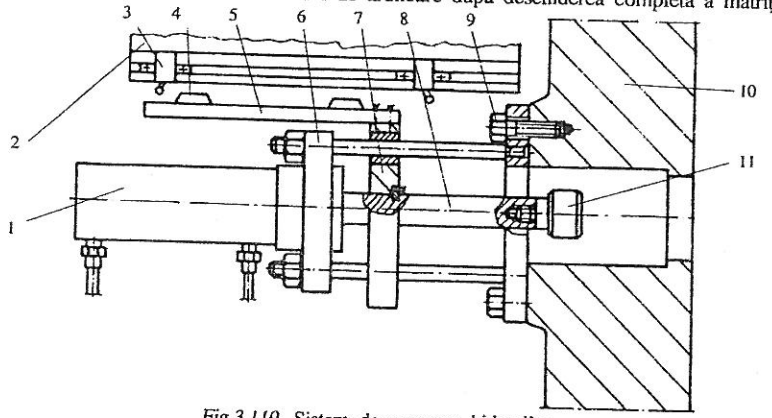


Fig.3.119. Sistem de aruncare hidraulic:
1 - cilindru hidraulic; 2 - placă suport; 3 - limitator de cursă; 4 - camă; 5 - placă cu came; 6 - suport; 7 - placă ghidată; 8 - tijă piston; 9 - șurub; 10 - platou mobil; 11 - cuplă rapidă.

- permite executarea unor mișcări programate suplimentar (două sau trei aruncări);
- asigură funcționarea în ciclu automat a mașinii de injectat.

Un astfel de sistem este prezentat în *fig.3.119.* Cilindrul hidraulic *1* este fixat pe suportul *6* care este montat cu ajutorul șuruburilor *9* pe platoul mobil *10.* La sfârșitul cursei de deschidere a platoului mobil, ca urmare a comenzii primite, uleiul pătrunde în cilindrul hidraulic *1*, determinând mișcarea tijei *9* în sensul aruncării. Solidar cu tija *9* se află placa ghidată *7* pe care este montată placa suport *5.* Pe placa suport *5* se găsesc camele *4* care în timpul mișcării de aruncare și de retragere întâlnesc limitatoarele de cursă *3.* Lungimea cursei de aruncare este determină prin poziția camelor *4* pe suportul *5.* Pe tija pistonului *8* se găsește cupla rapidă *11* cu care se pune în legătură tija pistonului cu tija de aruncare a matriței.

3.4. Acționarea, comanda și reglarea hidraulică a mașinilor de injectat

La mașinile de injectat se folosesc mai multe sisteme de acționare: hidraulică, mecanică și pneumatică.

Indiferent de sistemul de acționare folosit, elementul generator energetic îl constituie aproape în exclusivitate motoarele electrice asincrone, care sunt simple și relativ ieftine.

3.4.1. Sisteme de acționare hidraulică

În acționarea mașinilor de injectat se folosesc sisteme hidraulice de tip hidrostatic, care folosesc energia potențială a unui lichid de lucru sub formă de presiune hidrostatică. În *fig.3.120* este prezentată schema de principiu a unui sistem de acționare hidrostatic. Motorul electric *ME*, legat la o sursă de curent, generează energie mecanică care este transformată de pompa hidraulică *PH* în energie potențială a lichidului (presiune hidrostatică). Energia lichidului care pune în mișcare motorul hidraulic *MH* este transformată de acesta în energie mecanică, care este transmisă organului de execuție *OE.* Pentru asigurarea funcționării sistemului de acționare hidraulică conform procesului de prelucrare programat, el este prevăzut și cu un aparataj de comandă *AC* și un aparataj auxiliar *AA.*

Acționarea hidraulică, care este folosită în zilele noastre aproape în exclusivitate la acționarea mașinilor de injectat, prezintă multiple avantaje [65, 66]:
- posibilitatea automatizării ciclului de lucru;
- realizarea unor forțe mari cu mecanisme simple și de gabarit mic;
- comandă ușoară și control permanent asupra forțelor;
- posibilitatea obținerii unei variații continue a vitezelor mecanismului acționat și posibilitatea reglării automate a vitezei în timpul funcționării;
- inversarea ușoară a sensului mișcării fără efecte și solicitări dinamice mari;
- posibilitatea amplasării comode a elementelor de acționare și comandă în locuri ușor accesibile, îmbunătățindu-se astfel exploatarea mașinii;

- funcţionarea liniştită, lipsită de zgomot şi vibraţii, etc.

Dintre dezavantajele acţionării hidraulice se pot semnala:

- pierderi liniare şi locale de presiune;
- influenţa temperaturii asupra vâscozităţii lichidului de lucru, ceea ce determină introducerea unor sisteme de răcire.

În acţionarea hidraulică a maşinilor de injectat ca lichide de lucru se folosesc uleiuri minerale. Uleiul hidraulic este supus acţiunii îndelungate a unor presiuni, viteze şi temperaturi înalte. Uleiul trebuie să îndeplinească o serie de cerinţe [65]:

- să aibă bune proprietăţi lubrifiante şi rezistenţă ridicată a peliculei;
- să nu degaje vapori la temperaturi obişnuite de lucru;
- să nu conţină, să nu absoarbă şi să nu degaje aer în cantitate mare şi să nu formeze spumă;
- să aibă o rezistenţă chimică şi termică corespunzătoare;
- să aibă un punct ridicat de inflamabilitate;
- să nu provoace coroziune mecanismelor şi deteriorarea garniturilor.

3.4.1.1. Pompe hidraulice

Într-o instalaţie hidraulică pompa are rolul de a furniza energia hidraulică necesară motorului hidraulic pentru realizarea unui lucru mecanic. În acest scop pompa lucrează după principiul transportului de fluid dintr-o zonă de aspiraţie, unde uleiul are presiune joasă, în zona de refulare, la presiune ridicată, pe baza consumului de energie mecanică care este furnizată de motorul electric.

Pompele din instalaţiile hidraulice ale masinilor de injectat au gabarite mici, sunt compacte, având debite mici (de la câţiva zeci de litri la sute de litri pe minut) şi presiuni mari (de ordinul sutelor de atmosfere). Pompele pot fi clasificate după o serie de criterii, cel mai important fiind criteriul reglabilităţii: pompe cu debit constant şi pompe cu debit variabil [65, 66, 67, 69]. Prezenţa unei pompe într-o schemă de instalaţie hidraulică este marcată printr-un simbol care este o reprezentare simetrică a caracteristicilor sale funcţionale (*fig.3.121*).

Există mai multe tipuri constructive de pompe: pompe cu roţi dinţate, pompe cu palete, pompe cu pistoane radiale, pompe cu pistoane axiale, etc.

3.4.1.1.1. Pompe cu roţi dinţate

Pompele cu roţi dinţate folosite în instalaţiile hidraulice ale maşinilor de injectat au o largă răspândire datorită simplităţii constructive, compactităţii şi siguranţei în exploatare. Ele sunt pompe cu debit constant.

La acest tip de pompe, rolul de transportor al fluidului sub presiune între aspiraţie şi refulare îl au cuplele constituite din golul dintre dinţii pinioanelor, carcasă şi capacele laterale în conformitate cu *fig.3.122*. Camera de aspiraţie este dispusă în imediata apropiere a locului unde dinţii ies din angrenare şi unde se formează un volum suplimentar format din golurile eliberate de deinţii ieşiţi din angrenare. Întrucât pompa este etanşă şi în consecinţă camera de aspiraţie este izolată de mediul înconjurător, acest volum se va umple de lichid din rezervorul pompei, sub acţiunea presiunii atmosferice p_0 din rezervor. Lichidul, umplând golurile dinţilor din camera de aspiraţie, este antrenat în sensul săgeţilor de către cele două rotoare în camera de refulare, unde, prin

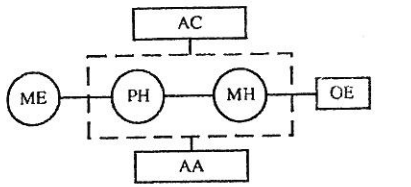


Fig.3.120. Schema de principiu a unui sistem de acţionare hidrostatic:
ME - motor electric; PH - pompă hidraulică; MH - motor hidraulic;
AC - aparataj de comandă; AA - aparataj auxiliar; OE - organ de execuţie.

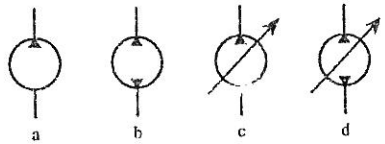


Fig.3.121. Simboluri pentru pompele hidraulice:
a - pompă cu debit constant unidirecţională;
b - pompă cu debit constant bidirecţională;
c - pompă cu debit variabil unidirecţională;
d - pompă cu debit variabil bidirecţională.

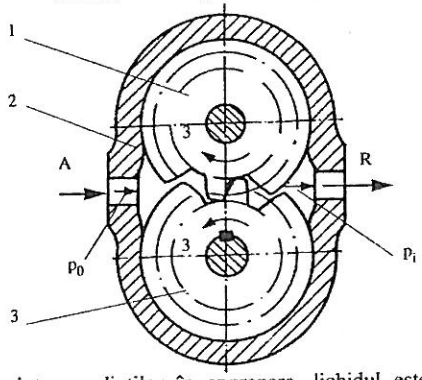


Fig.3.122. Principiul de funcţionare a unei pompe cu roţi dinţate:
1 - roată dinţată motoare; 2 - carcasă;
3 - roată dinţată condusă;
A - aspiraţie; R - refulare.

reintrarea dinţilor în angrenare, lichidul este dezlocuit şi trimis în conducta de refulare a sistemului sub presiunea p_i. Roţile dinţate folosite la aceste tipuri de pompe au în general dantură evolventică cu dinţi drepţi. Eficacitatea acţiunii de transport este influenţată de valoarea jocurilor radiale care există între dinţi şi carcasa exterioară, precum şi de valoarea jocurilor axiale pe suprafaţa plană frontală dintre roţi şi capacele laterale.

În unele cazuri se pot folosi în circuitele hidraulice pompe cu roţi dinţate cu mai multe etaje [66]. Debitul şi puterea absorbită a acestor pompe este calculată în lucrările de specialitate [65, 66, 67, 69].

3.4.1.1.2. Pompe cu palete

Şi pompele cu palete sunt larg răspândite la acţionarea maşinilor de injectat. Ele se pot clasifica în diferite moduri [66]. Din punct de vedere al capacităţii, ele se pot clasifica în pompe cu debit constant şi pompe cu debit variabil.

Principiul de construcţie şi de funcţionare al unei astfel de pompe poate fi urmărit în *fig.3.123*. Rotorul *3* se roteşte în jurul axului *4*, care este fix, excentric faţă de axa geometrică a statorului *1*. În timpul rotaţiei paletele *2* sunt obligate de un sistem de ghidare adecvat să iasă din rotor pe lungimea arcului unghiular $(0\text{-}\pi)$ şi să intre în rotor pe lungimea arcului unghiular $(\pi\text{-}2\pi)$ conform săgeţilor din figură. Prin ieşirea din rotor, volumul cuprins între cele două palete succesive, rotor, stator şi capacele laterale creşte, producându-i aspiraţia. Fluidul pătrunde în această cupă fie prin exterior (*fig.3.123.a*),

fie prin interiorul axului *4* construit special pentru acest scop (*fig.3.123.b*). La intrarea paletelor în rotor, volumul cupei transportoare definită mai sus se micşorează, producând refularea în zona de refulare exterioară sau interioară *R*. Pompele cu o singură excentricitate au capacitatea reglabilă, care însă le scade capacitatea de presiune datorită dezechilibrului hidraulic.

Pompele cu dublă excentricitate au capacitate fixă şi o construcţie echilibrată (*fig.3.124*). Aceste pompe au două cicluri de aspiraţie - refulare la o rotaţie, aspiraţia şi refularea făcându-se prin buzunarele prevăzute în stator. Paletele sunt elementele constructive cele mai importante şi trebuie să răspundă la multe cerinţe.

Pompele cu palete au un grad ridicat de dificultăţi tehnologice datorate ajustajelor complexe ce trebuie create între piesele aflate în mişcare relativă. Calculul debitului şi a puterii absorbţiei sunt date în lucrările [66, 67].

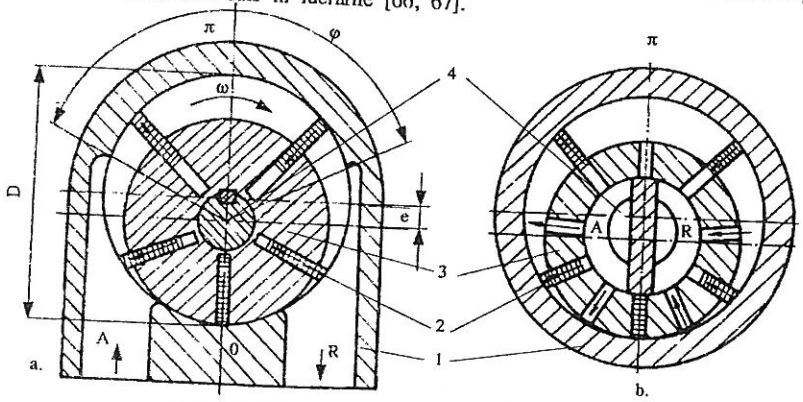


Fig.3.123. Principiul constructiv şi de funcţionare:
a - pompă cu aspiraţie exterioară; b - pompă cu aspiraţie interioară;
1 - stator; 2 - paletă; 3 - rotor; 4 - ax; A - aspiraţie; R - refulare; e - excentricitate.

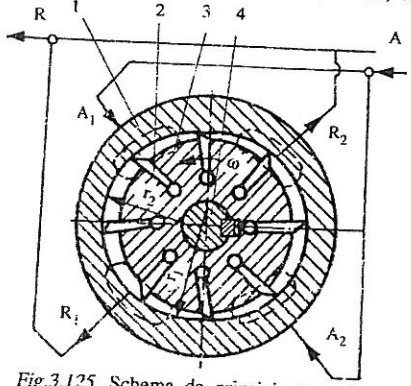


Fig.3.125. Schema de principiu a unei pompe cu corp înclinat:
1 - bloc; 2 - disc; 3 - arbore; 4 - ax cardanic; 5 - bielă cu dublă articulaţie; 6 - pistonaş; 7 - disc; 8 - ax.

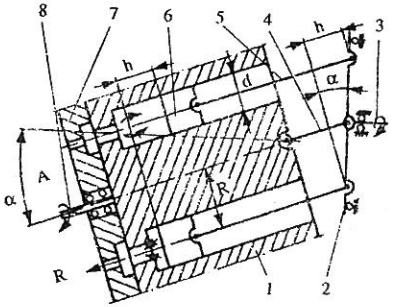


Fig.3.124. Principiul pompei cu dublă excentricitate:
1 - stator; 2 - paletă; 3 - rotor; 4 - ax;
A, A_1, A_2 - aspiraţie; R, R_1, R_2 - refulare.

3.4.1.1.3. Pompe cu pistonaşe axiale

Pompele cu pistonaşe axiale se întâlnesc frecvent în acţionarea hidraulică a maşinilor de injectat, atât ca pompe cu debit constant cât şi ca pompe cu debit variabil. Sunt cunoscute trei principii constructiv funcţionale, şi anume: cu disc înclinat, cu corp înclinat şi cu disc fulant, toate putând fi cu poziţie fixă sau reglabilă a discului sau a corpului. De fapt, aceste denumiri sunt atribuite în funcţie de elementul asupra căruia se acţionează pentru realizarea variaţiei debitului acestei pompe.

În *fig.3.125* este prezentată o schemă de principiu a unei pompe cu corp înclinat. În urma rotirii din exterior a arborelui *3*, discul *2* este antrenat în mişcare rotaţie şi o dată cu acesta pistoanele *6*, prin intermediul bielelor cu dublă articulaţie *5*. Pistoanele obligă totodată şi blocul *1* să efectueze o mişcare de rotaţie, acesta fiind susţinut prin axul cardanic *4* de discul *2*, iar prin axul *8* de discul *7*. Urmarea acestui ansamblu de mişcări, între pistoane şi corp apare o mişcare relativă de roto-translaţie, fiecare pistonaş parcurgând, după o rotaţie a corpului *1* cu π radiani, un spaţiu liniar *h*. În consecinţă, pe un spaţiu unghiular (0-π) radiani, pistonul iese din corp şi, întrucât creează o depresiune în volumul din stânga sa, fluidul din zona de aspiraţie *A* patrunde în corp, realizând aspiraţia; pe cealaltă lungime unghiulară (π-2π) radiani, pistonaşul intră în corp expulzând fluidul în zona de refulare *R*. Discul *7* este imobil faţă de corpul *1*; el are rolul de a lega succesiv aspiraţia cu refularea şi din nou cu aspiraţia, ş.a.m.d. Zona din spatele pistonaşului realizează o distribuţie a fluidului, din care cauză se numeşte disc de distribuţie.

Constructiv, dacă unghiul α al blocului se păstrează constant, pompa va avea debitul constant. Dacă însă unghiul α se modifică, se va modifica şi cursa pistoanelor în corpul înclinat şi implicit se va modifica şi debitul. Modificarea unghiulară a corpului înclinat se poate realiza manual cu ajutorul unui şurub sau a unei manete şi automat cu ajutorul unui sistem de pistoane hidraulice. O secţiune printr-o astfel de pompă este prezentată în *fig.3.126*.

Construcţia unei pompe cu corp înclinat cu debit variabil este prezentată în *fig.3.127*. Principiul de funcţionare este asemănător cu al pompei cu bloc înclinat, deosebit fiind numai modul de reglare al unghiului α, care aici se face prin intermediul discului rotitor *6* şi în jurul articulaţiei axului *5*.

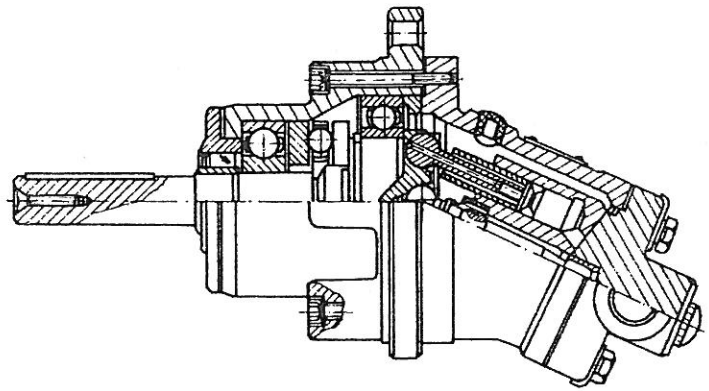


Fig.3.126. Construcţia unei pompe cu pistonaşe axiale cu debit variabil.

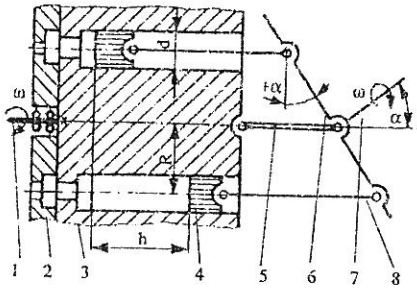


Fig.3.127. Schema de principiu a unei pompe cu disc înclinat:
1 - ax; 2 - disc; 3 - bloc; 4 - pistonaş; 5 - ax cardanic;
6 - disc rotitor; 7 - ax rotitor; 8 - bielă.

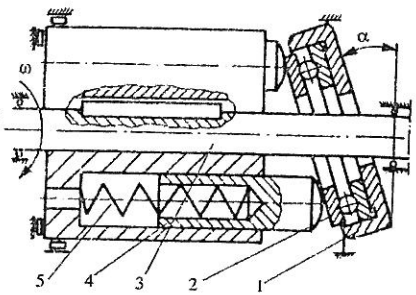


Fig.3.128. Schema de principiu a unei pompe cu disc fulant:
1 - disc; 2 - rulment; 3 - ax central de antrenare; 4 - pistonaş; 5 - arc.

În *fig.3.128* este reprezentată o schemă de principiu a unei pompe cu disc fulant. Pompa funcţionează după un principiu asemănător pompelor cu corp sau disc înclinat. Denumirea de disc fulant provine de la faptul că inelul rulmentului execută şi el o mişcare de rotaţie, lăsând impresia vizuală a unei mişcări fulante. În mişcarea sa de rotaţie discul obligă pistoanele să execute o mişcare rectilinie alternativă în interiorul corpului. Aspiraţia şi refularea se realizează prin partea frontală a corpului.

3.4.1.1.4. Pompe cu pistonaşe radiale

Spre deosebire de pompele cu pistonaşe axiale, la aceste pompe pistoanele sub care se află fluidul nu execută mişcări axiale ci mişcări radiale; de aici şi numele dat acestor pompe.

Principiul de funcţionare al acestor tipuri de pompe poate fi urmărit în *fig.3.129*. Rotorul *1* este amplasat excentric faţă de statorul *3* şi din acest motiv pistoanele *2* execută pe lungimea unghiulară $(0\text{-}\pi)$ o rotaţie rotorului sprijinit pe axul *4*, o deplasare spre exterior, iar pe lungimea unghiulară $(\pi\text{-}2\pi)$ o deplasare spre interior. Prin deplasarea radială a pistonaşelor către exterior, volumul închis sub pistoane se măreşte şi are loc aspiraţia, iar prin mişcarea inversă volumul scade şi fluidul este obligat să părăsească incinta, realizând astfel refularea. Axul central *4* asigură prin construcţia sa legătura succesivă a camerelor cilindrilor cu conductele de aspiraţie *A* şi de refulare *R*, ale pompei.

Există varianta constructivă a pompei cu pistoane radiale la care aspiraţia şi refularea nu se realizează prin interiorul rotorului ci prin exterior (*fig.3.130*).

În literatura de specialitate se prezintă şi alte soluţii constructive la care aspiraţia şi refularea este multiplă în timpul unui ciclu [65, 66, 67].

Pompele cu pistoane pot avea debit constant sau debit variabil. Reglarea debitului se realizează în principiu prin modificarea excentricităţii *e* dintre stator şi rotor.

Reglarea manuală a excentricităţii în vederea variaţiei debitului este prezentată în principiu în *fig.3.131*. Prin rotirea şurubului *1*, în piuliţa fixă *2*, se deplasează statorul *3* comprimându-se arcul *6*. Excentricitatea negativă se realizează tot cu acelaşi şurub, prin desfacere, iar statorul se deplasează în sus sub acţiunea arcului *6*.

Construcţia unei pompe cu pistoane radiale cu debit reglabil este prezentată în

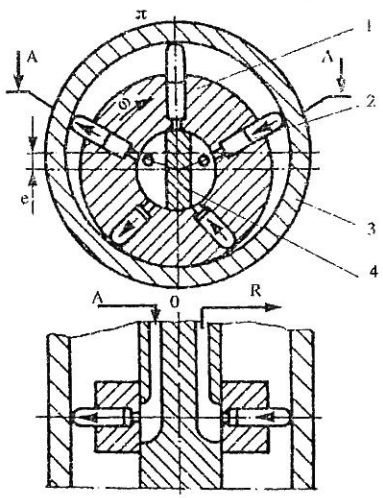


Fig.3.129. Schema de principiu a unei pompe cu pistonaşe radiale:
1 - rotor; 2 - pistonaş; 3 - stator; 4 - ax;
e - excentricitate.

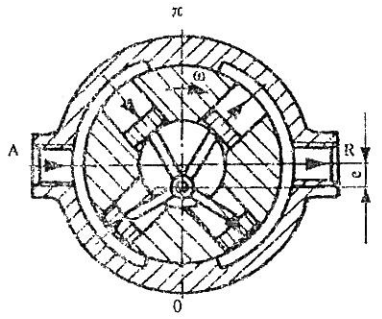


Fig.3.130. Schema de principiu a unei pompe cu pistonaşe radiale cu aspiraţie-refulare din exterior.

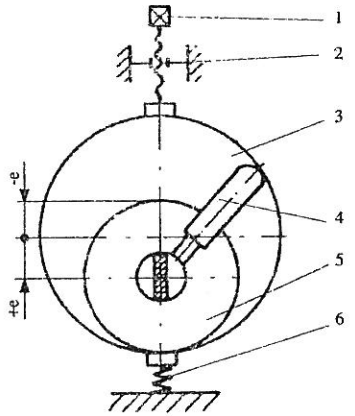


Fig.3.131. Schema de principiu a unei pompe cu pistonaşe radiale cu debit reglabil manual:
1 - şurub; 2 - piuliţă; 3 - stator;
4 - pistonaş; 5 - rotor; 6 - arc;
e - excentricitate.

fig.3.132. Modificarea excentricităţii statorului *2* în raport cu rotorul *6*, prin intermediul braţului *3*, determină variaţia debitului pompei.

În cursul unui ciclu de injectare este necesar ca debitul să fie modificat de mai multe ori. Modificările de debit se realizează prin modificări ale excentricităţii cu ajutorul unor sisteme de reglare corespunzătoare (*fig.3.133*). Braţul de reglare *4* al statorului pompei se găseşte plasat între două pistoane *2*. Uleiul sub presiune de la o pompă cu debit constant, independentă de pompa cu debit variabil, pătrunde prin orificiul *A* în cilindrul hidraulic *2*. Presiunea astfel creată, numită presiune de rglare, acţionează asupra pistonului *3* care la rândul său apasă bratul de reglare *4* care determină creşterea excentricităţii şi implicit a debitului şi presiunii furnizate de pompă. Orificiul *B* este legat la canalul de presiune al pompei cu pistoane radiale. Dacă creşte presiunea uleiului la refulare, creşte şi presiunea exercitată asupra pistonului *5* cu diametru mic.

Ca urmare a unei presiuni ridicate asupra pistonului *5*, este determinată mişcarea spre dreapta a braţului de reglare *4* şi ca urmare a micşorării excentricităţii, debitul pompei se reduce corespunzător.

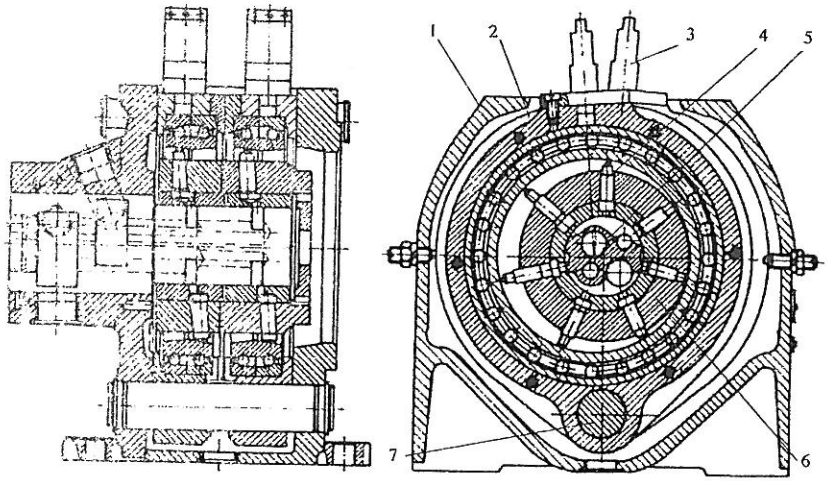


Fig.3.132. Pompă cu pistonaşe radiale:
1 - carcasă; 2 - stator; 3 - braţ acţionare; 4 - pistonaş radial; 5 - ax; 6 - rotor; 7 - bolţ.

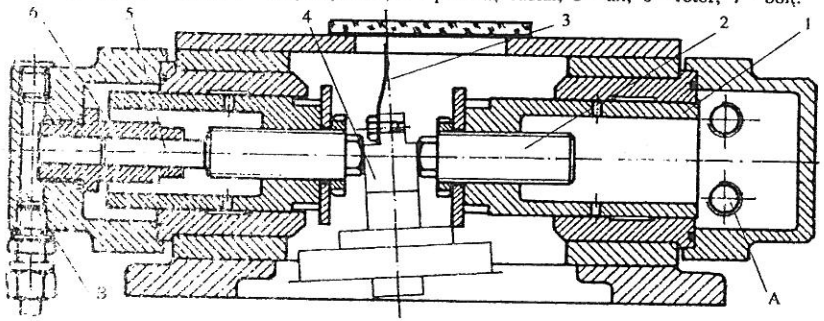


Fig.3.133. Sistem hidraulic de reglare:
1 - cilindru hidraulic; 2 - pistonaş; 3 - arc; 4 - braţ de reglare; 5 - pistonaş;
6 - cilindru de reglare; A, B - intrări ale uleiului.

3.4.1.2. Motoare hidraulice

Motoarele hidraulice transformă energia potenţială a lichidului sub formă de putere hidraulică în putere mecanică pentru realizarea unei mişcări de rotaţie sau de translaţie. După natura fizică a mişcării se disting două categorii de motoare: rotative şi liniare.

3.4.1.2.1. Motoare hidraulice rotative

În schemele de acţionare se folosesc pentru motoarele hidraulice rotative simbolurile din *fig.3.134.*

Motoarele hidraulice pot fi clasificate după mai multe criterii, cel mai important fiind criteriul reglabilităţii: motoare cu debit constant (*fig.3.134.a, b*) şi motoare cu debit variabil (*fig.3.134. c, d*).

În schemele de acţionare ale maşinilor de injectat se folosesc motoare de turaţii medii şi înalte. Din punct de vedere teoretic toate pompele hidrostatice cu rotor pot fi folosite ca motoare rotative dacă se inversează sensul transformării energiei în interiorul lor. Datorită însă calităţilor lor, cele mai folosite motoare hidraulice rotative sunt cele cu pistoane radiale, cu pistoane axiale sau cu roţi dinţate. Calculul cuplului motor şi a debitului necesar motoarelor hidraulice rotative se prezintă în lucrările de specialitate [65, 66, 67].

La o maşină de injectat motoarele rotative se folosesc în mod frecvent la:
- acţionarea melcului;
- acţionarea mecanismului de reglare a înălţimii matriţei.

3.4.1.2.2. Motoare hidraulice liniare

Motoare hidraulice liniare de forma cilindru-piston sunt cele mai răspândite motoare liniare folosite în construcţia maşinilor de injectat, fiind utilizate atât pentru acţionări de translaţie cât şi în combinaţii mecanice de transformare pentru acţionări de rotaţie.

Motoarele hidraulice liniare se pot clasifica din punct de vedere constructiv şi funcţional în mai multe variante (*fig.3.135*). Formele constructive ale motoarelor hidraulice pentru maşinile de injectat sunt variate. Elementele constructive principale ale unui motor hidraulic sunt: cilindrul şi pistonul.

Cilindrul. Cilindrii motoarelor hidraulice se construiesc din ţevi de oţel laminat, din fontă sau oţel turnat. Forma de asamblare a capetelor depinde de forma constructivă a cilindrului, în funcţie de care capetele sunt prevăzute cu capace sau subansamble de trecere pentru tijă. Capacele cilindrilor se fixează pe suprafaţa frontală a cilindrilor hidraulici prin asamblări fixe sau demontabile. În general forma de asamblare depinde de presiunea din cilindru, de gabaritul cilindrului şi de poziţia pe care o ocupă în ansamblul instalaţiei hidraulice. O problemă de mare importanţă pentru buna funcţionare a motorului hidraulic este etanşarea capacului în partea de trecere a tijei. Există soluţii constructive diverse [65, 66, 67].

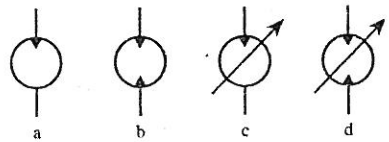


Fig.3.134. Simbolizarea motoarelor hidraulice rotative:
a - cu debit constant unidirecţional; b - cu debit constant bidirecţional; c - cu debit variabil unidirecţional; d - cu debit variabil bidirecţional.

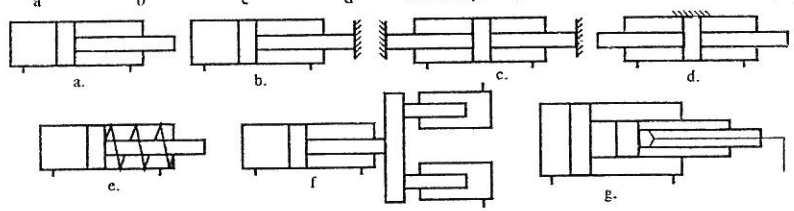


Fig.3.135. Motoare hidraulice liniare:
a - cu piston cu tijă pe o parte; b - cu piston cu tijă fixă; c - cu piston cu două tije fixe; d - cu piston cu două tije şi fixarea cilindrului; e - cu piston şi arc de revenire; f - cu mai mulţi cilindri; g - cu mai mulţi cilindri cu dublu efect.

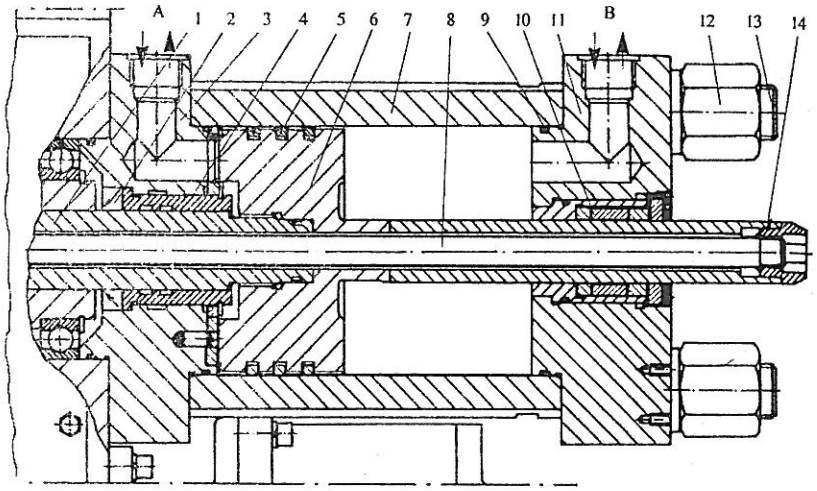


Fig.3.136. Motor hidraulic liniar al unităţi de injectare:
1 - tijă piston; 2 - inel de etanşare; 3 - capac cilindru; 4 - bucşă de centrare; 5 - segmenţi; 6 - piston; 7 - cilindru; 8 - tijă de strângere; 9 - garnitură de etanşare; 10 - presetupă; 11 - capac cilindru; 12 - piuliţe de strângere; 13 - tijă; 14 - tijă suplimentară; A, B - intrare şi ieşire ulei.

Pistonul motorului hidraulic poate avea diferite forme constructive în funcţie de presiunea din cilindru şi lungimea cilindrului: pistoane cu canale circulare, pistoane cu segmenţi, pistoane cu manşete simple, pistoane cu manşete cu inele de protecţie, pistoane cu etanşare prin inel „O".

În *fig.3.136.* este prezentată construcţia unui motor hidraulic liniar al unităţii de injectare al unei maşini. Datorită existenţei celor două tije *1* şi *14* apare problema etanşării lor în ambele capace ale cilindrului. Strângerea celor două capace *3* şi *11* pe cilindrul *7* se realizează cu ajutorul a patru tije *13* şi a piuliţelor *12.*

3.4.2. Aparataj hidraulic de comandă

Circulaţia fluidului într-un sistem hodrostatic este dirijată cu ajutorul aparatajului de comandă pe traseul rezervor-pompă-motor şi în sens invers de la motor la rezervor în funcţie de mărimea debitului, direcţiile şi sensurile de curgere a fluidului şi ciclul de lucru al motorului hidraulic. Aparatajul hidraulic de comandă care asigură îndeplinirea ciclului de funcţionare al unei maşini de injectat se împarte în:

- aparataj de distribuţie;
- aparataj de reglare şi control;
- servovalve.

3.4.2.1 Aparataj de distribuţie

Dirijarea fluidului prin conducte spre diferitele elemente componente ale sistemului

hidraulic se efectuează cu ajutorul distribuitoarelor hidrostatice. Aparatajul de distribuţie trebuie să asigure o inversare liniştită, fără şocuri, un timp minim de inversare, pierderi minime de putere şi o poziţie precisă a organului inversat în punctele finale. Din punct de vedere constructiv distribuitoarele se împart în: rotative, cu sertar, plane şi cu supape.

Distribuitoare rotative. Pentru debite mici, 8...10 l/min, şi inversări mai rare unde nu se cere o precizie mare a inversării se folosesc distribuitoare rotative. Aceste distribuitoare se caracterizează printr-o mare simplitate constructivă. Funcţionarea unui astfel de distribuitor într-un circuit hidraulic este prezentată în *fig.3.137.* Lichidul hidraulic de la pompa *P*, în funcţie de poziţia în corpul distribuitorului *1* a capului *2*, ajunge la motorul hidarulic liniar *3* pe o faţă sau pe alta a pistonului determinând mişcarea tijei într-un sens sau altul. Lichidul evacuat din cilindru ajunge la rezervorul *R*.

Construcţia unui distribuitor rotativ cu *3* căi şi două poziţii este prezentată în *fig.3.138.* Comanda acestor distribuitoare se realizează manual sau mecanic.

Distribuitoare cu sertar. Distribuitoarele cu sertar sunt cele mai răspândite elemente de comandă în circuitele maşinilor de injectat. Acestea sunt folosite pentru game largi de debite şi presiuni, şi pentru frecvenţe mari ale inversării.

Un distribuitor cu sertar se compune în principal din corpul *1* şi sertarul *2* (*fig.3.139*). Dacă distribuitorul se găseşte în poziţia din dreapta (*a*), uleiul hidraulic nu poate ajunge de la pompa *P* la consumatorul *A*, calea fiind obturată. Dacă sertarul este în poziţia din stânga (*b*), se realizează cale liberă pentru lichidul hidraulic de la pompa *P* la consumatorul *A*.

Există o gamă foarte largă de distribuitoare ca rezultat al combinaţiilor dintre

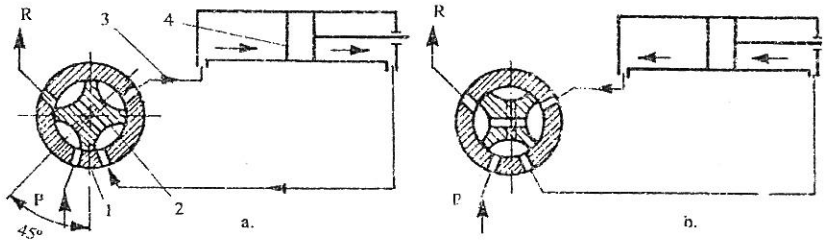


Fig.3.137. Funcţionarea unui distribuitor rotativ în circuit hidraulic:
1 - corp distribuitor; 2 - cep distribuitor; 3 - conducte de legătură; 4 - motor hidraulic liniar; a, b - poziţii de funcţionare.

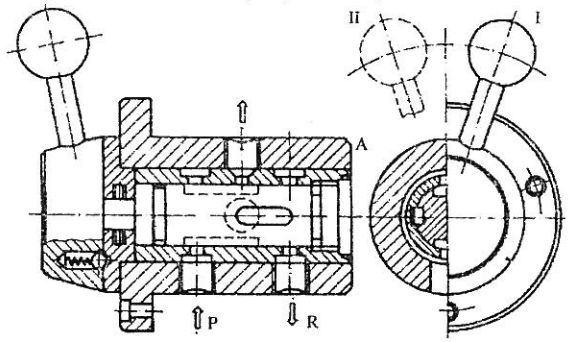


Fig.3.138. Distribuitor rotativ.

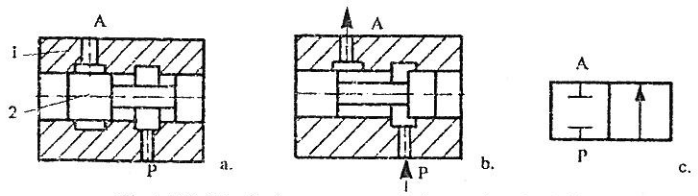


Fig.3.139. Distribuitor cu sertar (schemă de principiu):
1 - corp distribuitor; 2 - sertar; a, b - poziţii ale distribuitorului; c - simbol distribuitor.

numărul de căi si poziţii. În reprezentarea convenţională a distribuitoarelor, numărul de poziţii se simbolizează prin mai multe casete. Orificiile active se simbolizează prin conductele de legătură racordate la aceste orificii în dreptul casetei care reprezintă poziţia iniţială sau de repaus a aparatului. Pentru fiecare poziţie a distribuitorului se stabilesc anumite căi de comunicare între orificiile active, respectiv între conductele legate la distribuitor. Aceste căi şi sensul de curgere al fluidului sunt marcate prin săgeţi (*fig.3.139.c*). Intersecţia canalelor în interiorul distribuitorului se notează cu un punct. Canalele închise în distribuitor se marchează cu câte o liniuţă transversală la orificiile blocate.

Distribuitorul, în funcţie de numărul de căi şi poziţii, se notează cu cifre: prima cifră reprezintă numărul de căi, iar cea de-a doua numărul de poziţii. Diferite tipuri de distribuitoare, cu diferite căi şi poziţii, sunt prezentate în *fig.3.140*. Primele distribuitoare din *fig.3.140* sunt distribuitoare cu două căi şi două poziţii şi se notează: 2/2. Deplasarea sertarului distribuitorului, pentru trecerea dintr-o poziţie în alta este necesară pentru pornirea, oprirea sau inversarea sensului de mişcare al elementului de execuţie. Această deplasare se poate realiza manual, mecanic, electric, hidraulic sau combinat. Reprezentarea convenţională a distribuitoarelor pune în evidenţă acţionarea şi comanda acestora.

Acţionarea manuală a distribuitoarelor se face cu ajutorul unor manete, distribuitorul fiind prevăzut cu un sistem de poziţionare şi de menţinere în poziţie acţionată a sertarului (*fig.3.141*). Dacă maneta *7* nu este acţionată, arcul *2* ţine sertarul *4* în poziţie închis. Dacă se acţionează maneta *7* spre stânga, arcul *2* este comprimat şi calea este deschisă între *P* şi *A*. Acţionarea manuală a distribuitoarelor este rar folosită.

Acţionarea electrică a distribuitoarelor cu sertar se realizează cu unul sau doi electromagneţi de construcţie specială care sunt fixaţi pe unul sau pe ambele capace. În *fig.3.142*. este prezentat un distribuitor care are un electromagnet pe un capac. În poziţie de repaus, sertarul, sub acţiunea arcului *2*, este menţinut în poziţia în care trecerea lichidului de la *P* la *A* nu este posibilă. Când bobina a a electromagnetului *1* este alimentată cu curent electric, acesta se magnetizează şi atrage miezul *B* care, prin tija sa, împinge sertarul 4 comprimând arcul 2. Astfel se deschide calea uleiului hidraulic între P şi A.

Electromagneţii de comandă pot fi alimentaţi cu curent continuu la tensiunea de 24 V sau curent alternativ la tensiunea de 220 V, având caracteristicile adecvate. Timpul necesar trecerii sertarului dintr-o poziţie în alta este de 0,04...0,09 secunde, funcţie de presiunea şi debitul uleiului, plus timpul pentru intrarea în funcţiune a electromagnetului (0,08...0,2 secunde).

Comanda hidraulică a distribuitoarelor se realizează prin introducerea succesivă a fluidului în capetele distribuitoarelor. În *fig.3.143* este prezentat un distribuitor cu comandă hidraulică pe o parte. Uleiul sub presiune de la sursa p_1 determină mişcarea sertarului *4* spre stânga, mişcare care realizează comprimarea arcului 2. Se deschide astfel calea fluidului de la pompa *P* la consumatorul *A*. Dacă presiunea din p_1 încetează, arcul comprimat se destinde şi sertarul revine la poziţia „neacţionat", închizând calea de trecere a uleiului de la *P* la *A*.

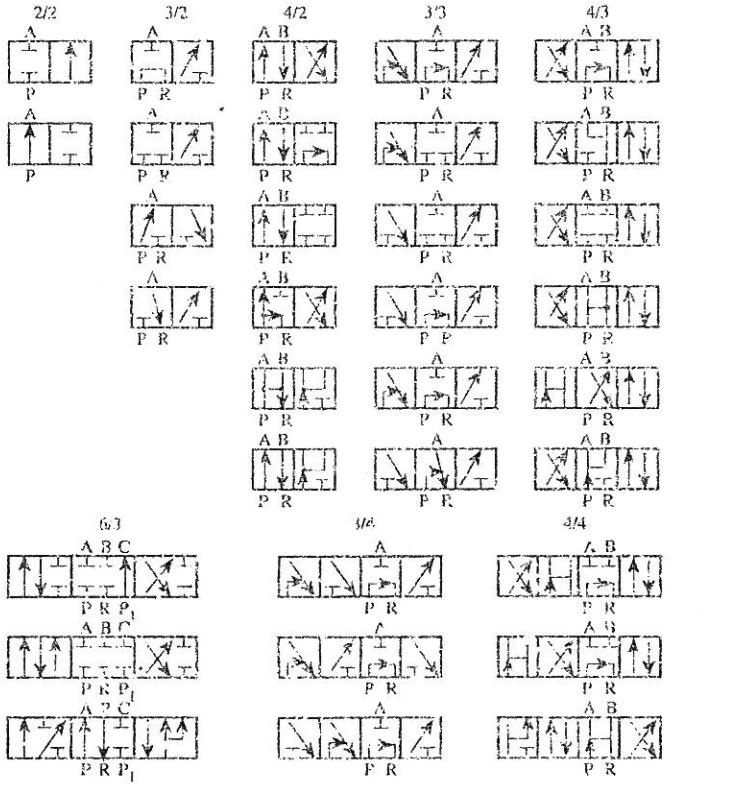


Fig.3.140. Distribuitoare cu sertar (simbolizări):
P - pompă; R - rezervor; A, B, C - consumatori.

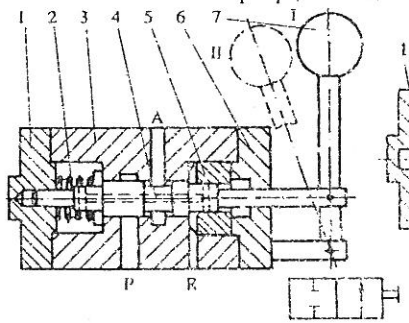


Fig.3.141. Distribuitor cu sertar (2/2) cu acţionare manuală:
1 - capac; 2 - arc; 3 - corp; 4 - sertar; 5 - tampon; 6 - capac; 7 - manetă; P - pompă; R - rezervor; A - consumator.

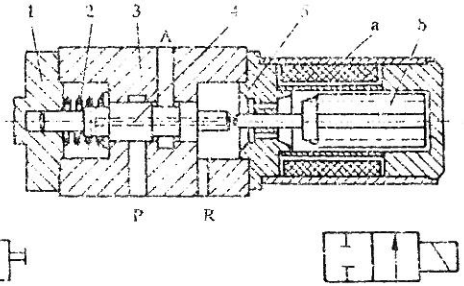


Fig.3.142. Distribuitor cu sertar (2/2) cu acţionare electrică:
1 - capac; 2 - arc; 3 - corp; 4 - distribuitor; 5 - electromagnet; a - bobina; b - miez magnetic; P - pompă; R - rezervor; A - consumator.

Comanda hidraulică a distribuitoarelor permite variaţia vitezei de deplasare a sertarului prin introducerea unor drosele şi a unor canale speciale (*fig.3.144*). Reglând drosele*le 2* şi *5* pentru o secţiune corespunzătoare de trecere a fluidului, se poate mări viteza de deplasare a sertarului, fapt care conduce la o frânare bruscă şi deci o micşorare a timpului de inversare.

Pentru debite mari şi pentru a obţine un proces tranzitoriu mai bun, la accelerarea şi frânarea mişcării sertarului distributorului şi implicit a motorului hidraulic, se foloseşte un distribuitor pilot care comandă distribuitorul propriu-zis (*fig.3.145*). Orificiile de alimentare şi evacuare a distribuitorului pilot se notează cu *x*, respectiv *y*, şi pot fi distincte de *P* şi *R*. Acţionarea pilotului se poate face electromagnetic.

Distribuitoarele plane şi distribuitoarele cu supape sunt mai puţin folosite în aparatura de comandă hidraulică a maşinilor de injectare. Ele sunt studiate în lucrări de specialitate [66].

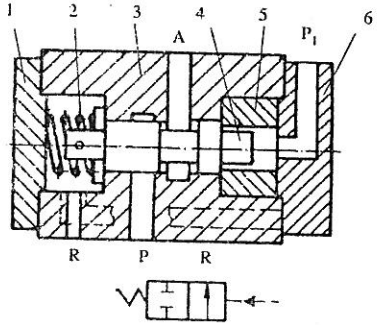


Fig.3.143. Distribuitor cu sertar (2/2) cu acţionare hidraulică:
1 - capac; 2 - arc; 3 - corp; 4 - sertar; 5 - tampon; 6 - capac; P - pompă; R - rezervor; A - consumator; p_1 - sursă de presiune.

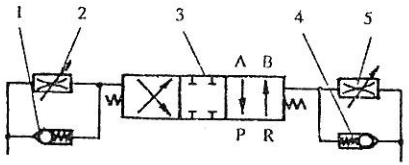


Fig.3.144. Comanda hidraulică a unui distribuitor:
1 - supapă de sens; 2 - drosel reglabil; 3 - distribuitor; 4 - supapă de sens; 5 - drosel reglabil; P - pompă; R - rezervor; A, B - consumatori.

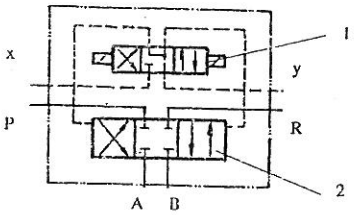


Fig.3.145. Comanda hidraulică a distribuitorului cu sertar cu distribuitor pilot:
1 - diatribuitor pilot; 2 - distribuitor comandat; x - orificiu de alimentare; y - orificiu de evacuare; P - pompă; R - rezervor; A, B - consumatori.

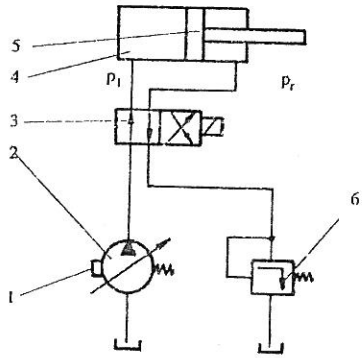


Fig.3.146. Reglarea volumului cu o pompă cu debit variabil cu reglare manuală:
1 - roată de reglare; 2 - pompă cu debit variabil; 3 - distribuitor cu sertar; 4 - motor hidraulic; 5 - piston; 6 - supapă.

3.4.2.2. Aparataj de reglare şi control

În sistemul de comandă hidraulică a circuitelor maşinilor de injectare se pun două probleme importante: reglarea vitezelor şi reglarea presiunilor.

3.4.2.2.1. Reglarea debitului

Reglarea vitezei motoarelor hidraulice se face prin variaţia cantităţii de lichid care trece în unitatea de timp prin motorul hidraulic. Există două metode: reglarea volumică şi reglarea rezistivă.

Reglarea volumică. Prin variaţia vitezei după metoda volumică, puterea dezvoltată de către motor, şi deci şi viteza, sunt proporţionale cu debitul la sarcini constante. În acest caz, motorul rotativ va da un cuplu de răsucire constant, iar motorul liniar o forţă constantă. Această metodă poate fi folosită la pornirea maşinii, când cuplul de răsucire sau forţa maşinii sunt maxime. Întrucât la reglarea volumică lipsesc pierderile prin laminarea lichidului (ca la reglarea rezistivă), randamentul acestui sistem de reglare este superior. Această metodă de reglare se recomandă în special la puteri mari, când se cere un domeniu mare de reglare a vitezelor.

În *fig.3.146* este prezentată o schemă hidraulică cu pompă reglabilă. Debitul pompei se reglează cu ajutorul şurubului *1* care deplasează statorul în poziţia corespunzătoare vitezei necesare pistonului *5*. Pe măsură ce sarcina rezistentă creşte, presiunea p_1 din faţa pistonului *5* precum şi presiunea de refulare p_r cresc. Din această cauză, viteza de deplasare a pistonului *5* se va micşora datorită creşterii pierderilor volumice.

O altă metodă de reglare este cea a compensării automate a pierderilor, respectiv a creşterilor de debit în funcţie de caracterul de variaţie a sarcinii (*fig.3.147*). Schema hidraulică prezentată permite reglarea automată a debitului pompei în funcţie de variaţiile de presiune în camera activă a motorului hidraulic. Astfel, dacă presiunea p_1 scade, descreşte şi forţa F_p exercitată de pistonul *4*, ceea ce are ca efect deplasarea carcasei pompei *2* sub acţiunea forţei arcului *1*, micşorându-se excentricitatea pompei. În acest mod creşterile de debit datorită scăderii presiunii sunt imediat reduse prin micşorarea corespunzătoare, în mod automat, a debitului pompei.

Există şi alte posibilităţi de reglare volumică a debitului [65, 66].

Reglarea rezistivă. Această metodă de reglare se foloseşte în cazul în care pompele din sistemul hidraulic sunt cu debit constant. Pentru reglare în acest caz se folosesc aparate numite drosele. Construcţia droselelor este apropiată de cea a unor robinete sau sertare care permit variaţia secţiunii de trecere a fluidelor şi o dată cu aceasta şi debitul prin fantele droselului. Reglarea debitului se face cu atât mai precis cu cât variaţia secţiunii de trecere a fluidului va fi mai fină.

Din punct de vedere constructiv, cel mai simplu drosel este cel prezentat în *fig.3.148*. Droselul cu ac nu poate asigura însă debite mici şi constante, deoarece, din punct de vedere hidraulic, la micşorarea secţiunii de trecere prin introducerea vârfului conic, rezistenţa hidraulică creşte. Se folosesc şi alte tipuri de drosel: drosel cu canal triunghiular, drosel cu diafragme, etc.

În cazul reglării prin drosel asigurarea stabilităţii vitezei este importantă. Pentru aceasta este nevoie ca diferenţa dintre presiunea la intrarea în drosel şi presiunea la ieşirea din drosel să fie constantă, indiferent de variaţia sarcinii la motorul hidraulic.

Pentru asigurarea acestei condiţii, droselul trebuie să funcţioneze complet cu o supapă specială numită stabilizator sau regulator (*fig.3.149*). De regulă, cuplul drosel -

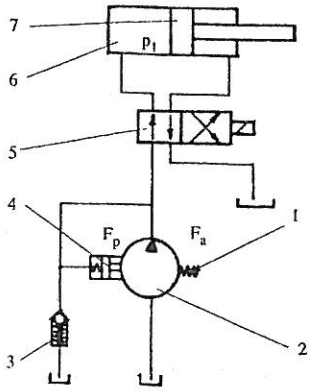


Fig.3.147. Reglarea volumului cu o pompă cu debit variabil în funcţie de variaţia presiunii:
1 - arc; 2 - pompă cu debit variabil; 3 - supapă de sens; 4 - pistonul pompei; 5 - distribuitor cu sertar; 6 - motor hidraulic liniar; 7 - piston.

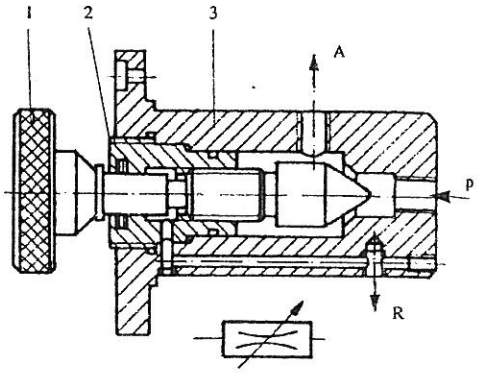


Fig.3.148. Drosel reglabil cu ac:
1 - ac; 2 - presetupă; 3 - corp drosel.

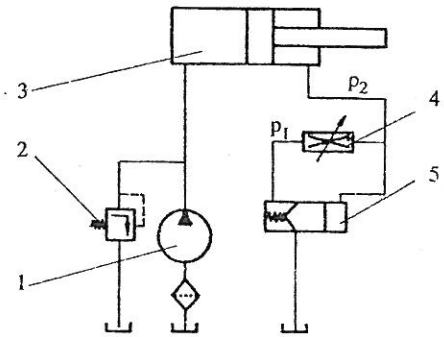


Fig.3.149. Montaj drosel-satbilizator pe conducta de evacuare:
1 - pompa; 2 - supapă de presiune; 3 - motor hidraulic liniar; 4 - drosel; 5 - stabilizator.

stabilizator se construieşte într-un ansamblu de sine stătător, incluzând în unele cazuri şi supapa de siguranţă.

Există trei modalităţi de montare a droselului: pe conducta de intrare a motorului, pe conducta de ieşire a motorului sau în derivaţie [65, 66].

3.4.2.2.2. Reglarea presiunii

Aparatajul folosit la reglarea presiunii în sistemele hidraulice poartă denumirea de *supape* sau *relee*. Reglarea presiunii se realizează, în general, prin reglarea cantităţii de fluid care trece prin supapă, astfel încât variaţia acestuia este folosită ca impuls de comandă pentru intrarea în funcţiune sau pentru deconectarea supapei respective.

Supapele se pot clasifica în două mari categorii:

- supape normal închise (supape de siguranţă şi supape de deversare) (*fig.3.150*);
- supape normal deschise (supape de reţinere, supape de reducţie, supape speciale) (*fig.3.151*).

Supapa de siguranţă este destinată să menţină o anumită presiune maximă pentru

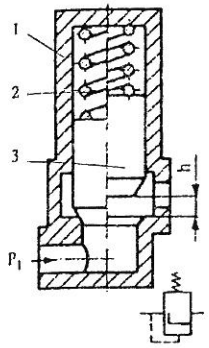


Fig.3.150. Supapă normal închisă:
1 - corp; 2 - arc; 3 - piston

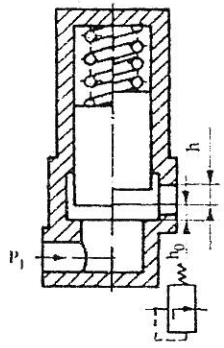


Fig.3.151. Supapă normal deschisă:
1 - corp; 2 - arc; 3 - piston

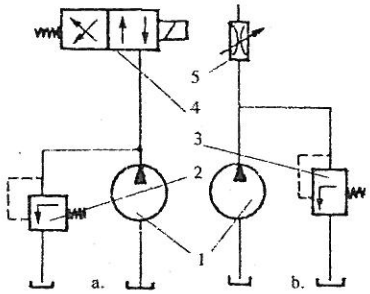


Fig.3.152. Montajul valvelor maximale:
a - supapă de siguranţă; b - supapă de deversare; 1 - pompă; 2 - supapă de presiune; 3 - supapă de deversare; 4 - distribuitor cu sertar; 5 - drosel.

care a fost reglată şi pentru care a fost calculat întregul aparataj hidraulic. Dacă la un moment dat presiunea în sistem creşte la o valoare mai mare decât cea stabilită, supapa se deschide lăsând să treacă în rezervor o anumită cantitate de lichid, până când presiunea iniţială se restabileşte. Montajul unei supape de siguranţă este prezentat în *fig.3.152.a.*

Supapa de deversare. Aceste supape au rolul nu numai de a proteja sistemul hidraulic, ci şi de a menţine în circuit o anumită presiune constantă necesară funcţionării maşinii în cazul reglării vitezei prin drosel şi trimiterii spre rezervor a cantităţii suplimentare de lichid rezultate din variaţia secţiunii active a droselului. Montajul unei supape de deversare este prezentat în *fig.3.152.b.*

Supapa de reţinere. Cele mai simple supape normal deschise sunt supapele de reţinere (*fig.3.153*). Acestea au rolul de a permite fluidului de lucru să treacă într-un singur sens. Ele se montează pe conducta de aspiraţie sau de refulare, în imediata apropiere a pompei, pentru a nu permite sistemului hidraulic să se golească de fluid la oprirea pompei (*fig.3.154*). Lipsa acestei supape poate duce la dezamorsarea pompei dacă aceasta se află deaupra nivelului uleiului din rezervor.

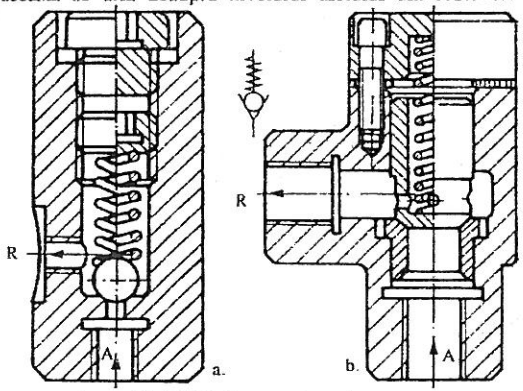


Fig.3.153. Supape de reţinere:
a - cu bilă; b - cu scaun conic.

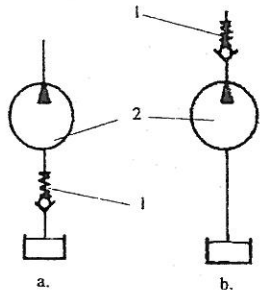


Fig.3.154. Montajul supapei de reţinere: a - pe conducta de aspiraţie; b - pe conducta de refulare; 1 - supapă de sens; 2 - pompă.

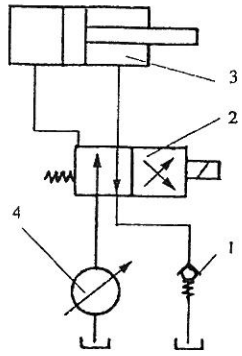


Fig.3.155. Montajul supapei de contrapresiune:
1 - supapă de contrapresiune;
2 - distribuitor cu sertar;
3 - motor hidraulic;
4 - pompă cu debit variabil.

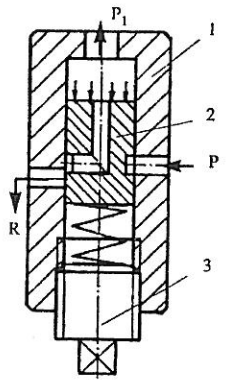


Fig.3.156. Supapă de reducţie:
1 - corp; 2 - piston;
3 - şurub de reglare;
P - presiune la intrarea în supapă;
P_1 - presiune redusă.

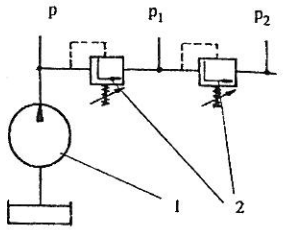


Fig.3.157. Montajul supapei de reducţie:
1 - pompă;
2 - supapă de reducţie.

Supapa de contrapresiune este similară constructiv cu supapa de reţinere. Ea se foloseşte pentru crearea unei anumite contrapresiuni în conducta de evacuare, contribuind astfel la obţinerea unei mişcări uniforme a motorului hidraulic (*fig.3.155*).

Supapa de reducţie (*fig.3.156*). Se folosesc pentru obţinerea unor presiuni mai mici decât presiunea din conducta principală a pompei. Se folosesc de asemenea pentru obţinerea unui debit constant la sistemele de reglare prin drosel a vitezei. Supapele de reducţie se montează în paralel cu conducta principală, fiind reglate la presiuni mai mici decât presiunea din conducta de refulare (*fig.3.157*).

3.4.3. Elemente hidraulice proporţionale

Sistemele hidraulice de reglare automată, cunoscute şi sub denumirea generică de servosisteme, se caracterizează prin aceea că asigură, pe lângă funcţia obişnuită de acţionare hidraulică a unui mecanism, şi realizarea unei stricte proporţionalităţi între mărimea de comandă (o deplasare, un curent, etc.) şi mărimea comandată (deplasarea mecanismului acţionat, viteza sau forţa acestuia) [67].

În structura de principiu a servosistemelor hidraulice sunt cuprinse două lanţuri de elemente:

- lanţul de acţionare, format din elemetele hidraulice uzuale de generare, execuţie şi auxiliare;
- lanţul de reglare automată, format din elementele de programare a mărimilor comandate şi din servo-elementele hidraulice care compară cele două mărimi şi corectează abaterile dintre ele cu ajutorul lanţului de acţionare.

Servoelementele sau elementele hidraulice proporţionale pot fi grupate în trei categorii principale:

- amplificatoare hidraulice;
- servovalve;
- supape proporţionale.

Amplificatoarele hidraulice permit manevrarea unor sarcini de cuplu mare la comenzi de cuplu redus, prin amplificarea acestora pe cale hidraulică, menţinând totodată proporţionalitatea dintre deplasarea organului de comandă şi deplasarea mecanismului acţionat.

Servovalvale hidraulice sunt de fapt elemente hidraulice cu funcţionare proporţională care se folosesc în sistemele de reglare automată, ce utilizează elementele de reacţie integrală, plasate la nivelul mecanismului acţionat.

Servovalvele electrohidraulice, numite şi servosupape, au ca element principal o unitate de reglare electromagnetică care transformă semnalele electrice în semnale mecanice. A doua parte importantă a unei servosupape este supapa de comandă, cu una sau două trepte de comandă, care transformă mişcarea mecanică a unităţii de reglare în semnal hidraulic proporţional. Aceasta înseamnă că debitul de ulei ce trece prin supapă depinde de mărimea electromagnetului.

În *fig.3.158* este prezentată schema de principiu a unei servosupape în două trepte. Servosupapa în două trepte este formată din unitatea de pilotare electromagnetică *A* şi supapa hidraulică în două trepte *B*. Diferenţa de intensitate de curent care circulă prin cele două bobine *1* este proporţională cu deplasarea supapei flexibile *2*. Această supapă se apropie sau se depărtează de capetele duzelor *3*. În funcţie de modificarea secţiunii de trecere printr-o duză sau alta, apar diferenţe de presiune pe capetele pistonului 5, determinând deplasarea acestuia într-un sens sau altul. Deplasarea pistonului în a doua treaptă hidraulică (care amplifică randamentul primei trepte) este urmărită de acul *4*, care la rândul lui asigură reglarea corespunzătoare a supapei *2*. Servosupapele sunt elemente hidraulice proporţionale folosite mai ales la reglări.

Supapele proporţionale. Sunt supape cu reglare continuă a unei mărimi de ieşire hidraulică (debit, presiune). proporţionale cu o mărime de intrare electrică. Sunt utilizate în momentul de faţă două tipuri de supape cu reglare continuă, şi anume:

- supape cu element de execuţie motor electric;
- supape cu element de execuţie electromagnet cu acţiune continuă.

În *fig.3.159* este prezentată o supapă de limitare a presiunii cu magnet proporţional. Supapa proporţională este formată din supapa de pilotare *1* cu magnet proporţional şi supapa principală *3*. Funcţia de bază corespunde cu aceea a supapei de limitare a presiunii. Deosebirea constă în supapa de pilotare *1*, la care în locul arcului s-a montat un magnet proporţional şi s-a ajustat conul de pilotare în mod corespunzător. Reglarea presiunii sistemului se face, în funcţie de presiune, prin magnetul proporţional. Curentul de intrare mai mare înseamnă o forţă magnetică sporită şi deci creşterea reglării presiunii.

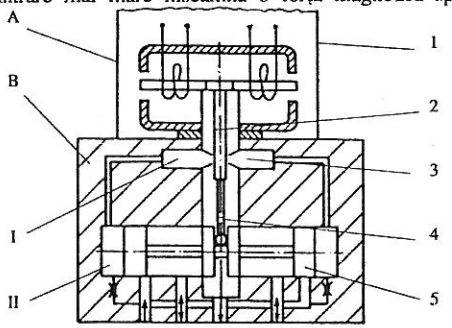


Fig.3.158. Schema de principiu a unei supape proporţionale în două trepte:
A - unitate de pilotare electromagnetică;
B - supapă hidraulică în două trepte;
I - prima treaptă hidraulică;
II - a două treaptă hidraulică;
1 - bobină; 2 - supapă; 3 - duză;
4 - arc; 5 - piston.

În supapă este montată de asemenea un sistem de protecţie *2* care împiedică ca presiunea să crească peste o valoare admisibilă, dacă se produce o avarie de natură electrică sau o creştere a curentului de comandă maxim.

Cu ajutorul distribuitoarelor proporţionale se pot comanda procese complexe de lucru ale unui consumator. Ele sunt formate din supapa de pilotare cu magnet proporţional şi un distribuitor clasic. La un semnal electric de intrare ia naştere în magnetul proporţional o forţă electromagnetică care determină o presiune de comandă ce impune o cursă proporţională a pistonului distribuitorului principal.

Supapele proporţionale, faţă de servosupape care sunt şi ele elemente hidraulice, se folosesc mai ales la comenzi. La acţionarea supapelor şi la comanda lor se folosesc amplificatoare electronice. Astfel, procesele de accelerare şi întârziere se pot realiza fără

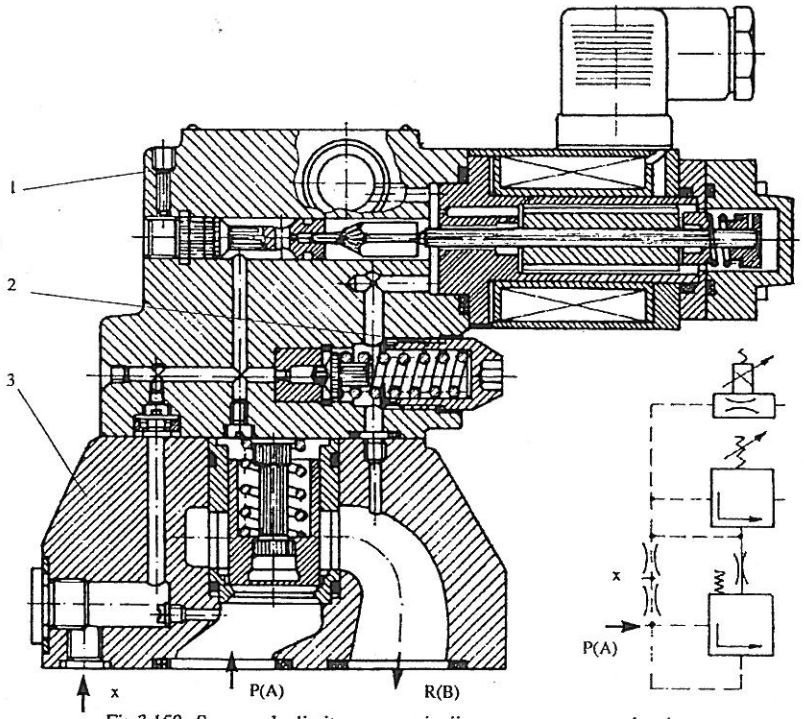


Fig.3.159. Supapa de limitare a presiunii cu magnet proporţional:
1 - supapă de pilotare; 2 - sistem de protecţie; 3 - supapă principală.

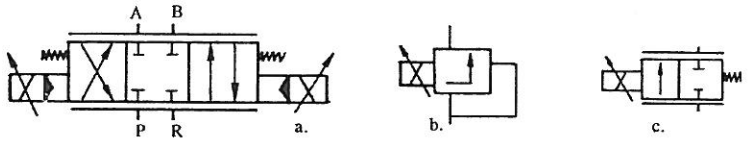


Fig.3.160. Simboluri ale supapelor proporţionale:
a - distribuitor cu 3 poziţii şi 4 căi; b - supapă de limitare a presiunii;
c - distribuitor cu 2 poziţii şi 2 căi.

dificultate, valorile dorite de comandă fiind memorate uşor şi nu sunt dependente de influenţele hidraulice (vâscozitate ulei).

Simbolurile supapelor proporţionale sunt prezentate în *fig.3.160.*

3.4.4. Supape Cartridges

Circuitele de comandă ale maşinilor de injectat pot fi realizate în condiţii foarte avantajoase cu ajutorul supapelor Cartridges [80]. Datorită analogiei lor funcţionale cu elementele electronice de tip tranzistor sau tiristor, precum şi a unor elemente logice de bază, se foloseşte şi denumirea de *hidrologistor.*

Principiul de funcţionare a unei supape Cartridges poate fi urmărit în *fig.3.161.* Debitul de ulei pe circuitul *A-B* este influenţat de debitul de comandă din *C.* Poziţia de lucru a elementului mobil *3* a supapei Cartridges depinde de valoarea presiunii de comandă p_x, în raport cu presiunile existente în legăturile *A* şi *B* (p_A şi p_B), precum şi de mărimea suprafeţelor pe care acţionează ele. Se poate spune că, cu cât presiunea de comandă p_x necesară menţinerii hidrologistorului în stare închisă este mai mică, cu atât suprafaţa A_x este mai mare.

În tehnica de comandă care utilizează comutaţia cu supapa Cartridges există un număr mare de posibilităţi de circuite şi legături [70]. În *fig.3.162* sunt prezentate două soluţii de acţionare a unui cilindru de lucru:

- soluţia clasică de comandă (*fig.3.162.a*);
- soluţie cu hidrologistori (*fig.3.162.b*).

În cazul acţionării cu supape Cartridges (*fig.3.162.b*) acţionarea electromagnetului Mg_1 determină deplasarea cilindrului de lucru *M* în direcţia săgeţii. În acest caz, supapele Cartridges *2* şi *3* sunt închise de uleiul de comandă, iar supapele *1* şi *4* rămân deschise. Acţionarea electromagnetului Mg_2 determină deplasarea pistonului cilindrului *M* spre stânga.

Principalele avantaje ale utilizării hidrologistorilor şi a comenzilor cu hidrologistori demontaţi în bloc sunt următoarele:

- densitate mare de putere;
- grad bun de eficienţă hidraulică;

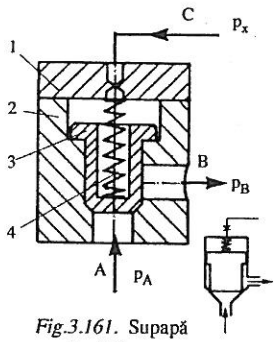


Fig.3.161. Supapă Cartridges:
1 - capac; 2 - corp;
3 - piston; 4 - arc.

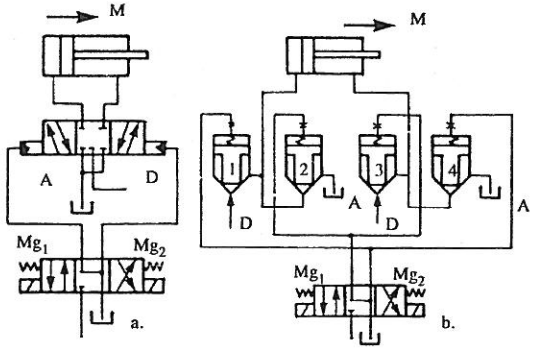


Fig.3.162. Posibilităţi de comandă a unui cilindru hidraulic:
a - cu elemente hidraulice clasice; b - cu supape Cartridges.

- comportare foarte bună la comutare;
- siguranţă mare la comutare;
- flexibilitatea sistemului bloc;
- depanarea uşoară;
- durată mare de funcţionare.

3.4.5. Aparataj auxiliar

Pentru ca un sistem hidraulic să funcţioneze normal în afară de elementele componente principale cum sunt: pompele, motoarele hidraulice, aparatajul de comandă, trebuie să mai conţină încă o serie de elemente secundare cu o importanţă mai mică, însă absolut necesare. Aceste elemente sunt: conducte, elemente de etanşare, blocuri hidraulice, rezervoare, acumulatoare.

Conductele hidraulice sunt elemente de legătură dintre diferitele aparate şi mecanisme ale unei maşini de injectat prin care curge uleiul hidraulic. La calculul şi dimensionarea conductelor trebuie ţinut seama de regimul de curgere, de viteza de transmitere a impulsurilor şi pierderile hidraulice.

Conductele folosite la o maşină de injectat pot fi rigide sau flexibile. Conductele rigide, construite din ţeavă, se întrebuinţează în zone de folosinţă îndelungată, fără demontare. Pentru asamblarea conductelor hidraulice între ele, precum şi pentru asamblarea cu diverse aparate hidraulice, se folosesc fie armături fixe, fie armături demontabile (racorduri). Conductele flexibile se folosesc în conducerea uleiului sub presiune între elementele care execută mişcări. Conductele sunt confecţionate din cauciuc cu inserţie metalică.

Simbolizarea lor este prezentată în *fig.3.163.*

Aparatajul de filtrare. Buna funcţionare a instalaţiilor de acţionare hidraulică, precum şi menţinerea în timp a performanţelor lor iniţiale, sunt puternic influenţate de calitatea mediului hidraulic.

În fluidul de lucru pot apărea diferite incluziuni:

- prin introducerea unui fluid care prin manipulări greşite a fost impurificat;
- prin uzura instalaţiei;
- oxidarea fluidului la exploatare.

Pentru separarea şi reţinerea incluziunilor mecanice, a produselor de oxidare, se folosesc diferite tipuri şi construcţii de filtre. Ca elemente de filtrare se folosesc site metalice, elemente textile, elemente magnetice, materiale metalice (lamele sau pulberi) şi materiale ceramice poroase. Filtrarea uleiului începe de la introducerea uleiului în rezervor printr-o sită metalică montată pe orificiul de umplere. Pentru reţinerea particulelor mai mari, în rezervor, pe conducta de aspiraţie a pompei, se montează un filtru dintr-o sită metalică.

Simbolizarea filtrelor în circuitele hidraulice se face ca în *fig.3.163.*

Rezervoare. Circuitele hidraulice ale maşinilor de injectat lucrează în circuit închis. Uleiul necesar întregului circuit hidraulic se află înmagazinat într-un rezervor. Capacitatea de înmagazinare se calculează în funcţie de capacitatea circuitului hidraulic şi debitul pompei şi trebuie să se ţină seama de necesitatea eliminării căldurii acumulate în timpul funcţionării maşinii de injectat.

Rezervoarele se construiesc din tablă sudată şi se montează în interiorul batiurilor. Ele trebuie să aibă o poziţie uşor accesibilă, în vederea umplerii, golirii şi curăţirii sale.

În general, uleiul hidraulic aflat în rezervorul maşinii de injectat este supus răcirii

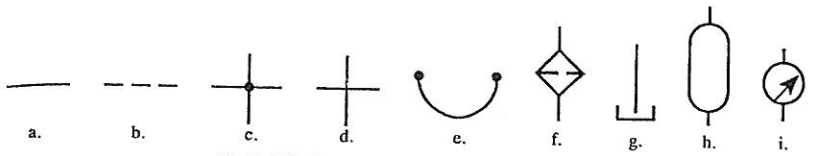


Fig.3.163. Simboluri ale aparatajului auxiliar:
a - conductă hidraulică; b - conductă de retur; c - conducte intersectate;
d - conducte care nu se intersectează; e - conducte flexibile; f - filtru; g - rezervor;
h - acumulator; i - manometru.

forţate cu ajutorul unor schimbătoare de căldură. Schimbătoarele de căldură folosite sunt cu răcire cu apă, de tip serpentină sau multitubular.

Simbolizarea rezervoarelor în circuitele hidraulice este prezentată în *fig.3.163.*

Blocuri hidraulice. La o maşină de injectat, aparatajul de comandă se concentrează pe unul sau mai multe blocuri hidraulice. Legătura (circulaţia uleiului) între diversele aparate se realizează prin găuri şi orificii interioare executate în acest bloc hidraulic, iar etanşarea se face cu dopuri şi capace.

Folosirea blocurilor hidraulice simplifică mult construcţia instalaţiei hidraulice şi reduce gabaritul acesteia, mărind calităţile de exploatare. Aceste blocuri se montează separat şi se fixează pe batiul maşinii de injectat în locuri uşor accesibile pentru reglaje şi depanare.

Un exemplu de bloc hidraulic este prezentat în *fig.3.164.*

Acumulatoare hidraulice. Acumulatoarele hidraulice sunt elemente auxiliare ale sistemelor de acţionare hidraulică care au rolul de a suplimenta debitul de ulei al pompei în timpul unor perioade a ciclului de lucru. Acestea se folosesc la maşinile de injectat care, pentru realizarea unui ciclu de lucru necesită debite de ulei mult diferite ca mărime în timp.

În schemele hidraulice ale maşinilor de injectat se folosesc mai ales acumulatoare pneumohidraulice. Un asemenea acumulator este o incintă care conţine în timpul funcţionării un gaz şi un lichid, având între ele un element de separaţie. Din categoria acumulatoarelor pneumohidraulice fac parte acumulatoarele cu membrană şi acumulatoarele cu piston.

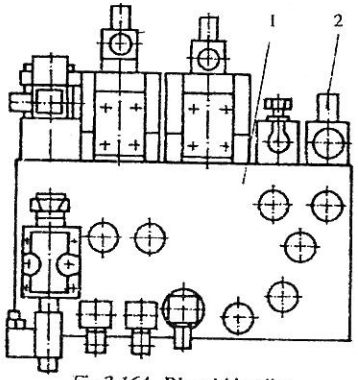


Fig.3.164. Bloc hidraulic:
1 - bloc hidraulic; 2 - aparataj de comandă.

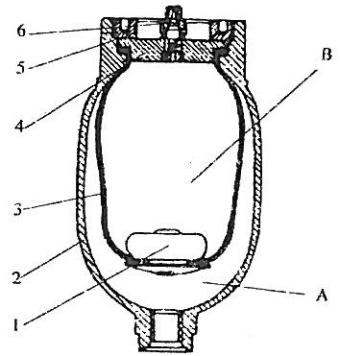


Fig.3.165. Acumulator cu membrană:
1 - pastilă; 2 - corp; 3 - membrană; 4 - element de fixare; 5 - piuliţă; 6 - supapă de încărcare.

Acumulatoarele cu piston sunt constituite dintr-o incintă cu lichid şi una de gaz, separate între ele printr-un piston etanş. Aceste acumulatoare lucrează bine la presiuni şi temperaturi ridicate, dar sunt puţin adaptate să lucreze ca amortizoare de vibraţii.

Acumulatorul cu membrană este prezentat în *fig.3.165.* În acest caz incinta cu lichid *A* este separată de incinta cu gaz *B* de o membrană elastică *3.*

Ca şi gaz, în acumulatoarele hidraulice se foloseşte în general azotul care este introdus sub presiune în incintă cu ajutorul unor butelii. Simbolizarea în circuitele hidraulice a acumulatorilor hidraulici se face conform *fig.3.163.*

Alte accesorii. Sistemul hidraulic al maşinilor de injectat mai conţine şi alte elemente auxiliare necesare funcţionării şi exploatării corecte: aparate de măsură (manometre, rotametre), elemente de etanşare (garnituri, manşete, etc.), elemente de reazem, etc.

3.4.6. Scheme hidraulice de comandă ale maşinilor de injectat

Există multiple variante de realizare a schemelor de comandă a maşinilor de injectat. Deşi componenţa unei scheme variază nelimitat în funcţie de o serie întreagă de factori (tipul şi caracteristicile funcţionale ale mecanismelor acţionate, echipamentul accesibil comercial, opiniile obiective sau subiective ale constructorului, etc.), oricare schemă hidraulică trebuie să soluţioneze aceleaşi probleme majore: tipul de circuit pompă - hidromotor precum şi mijloacele de realizare a funcţiilor hidraulice (execuţia, generarea energiei hidrostatice, distribuţia şi comanda, reglajele, protecţiile).

Se va prezenta o schemă hidraulică de comandă a unei maşini de injectat, cu elemente hidraulice convenţionale, tipul de schemă cu cea mai largă răspândire în acţionarea maşinilor de injectat (*fig.3.166*). Programul de lucru al maşinii poate fi urmărit în *tab.3.3.* Pentru acţionarea maşinii se folosesc pompele cu debit constant P_1, P_2 şi P_3, care pot lucra separat sau împreună.

Există mai multe motoare hidraulice:

- MH_1 pentru acţionarea unităţii de închidere;
- MH_2 pentru acţionarea liniară a melcului;
- MH_3 pentru acţionarea mesei maşinii;
- MH_4 pentru acţionarea rotativă a melcului.

În poziţia de bază, electromagnetul Mg_{14} conectează distribuitorul D_5 şi astfel consumatorul poate primi lichid de acţionare de la pompa P_{22} (25 l/min).

Prin programare se mai pot alege trei posibilităţi de lucru ale motoarelor hidraulice de lucru MH_1 şi MH_2 prin cuplarea diferită a pompelor P_1; P_1+P_2; $P_1+P_2+P_3$. Prin acţionarea motorului hidraulic rotativ al melcului se pot selecta două posibilităţi de viteze prin cuplarea diferită a pompelor (P_2; P_2+P_3).

După alegerea vitezei de bază a închiderii matriţei cu ajutorul droselului Dr_2, prin intermediul supapelor de reglare S_1 şi S_2, se pot regla treptat viteza de rotire a melcului, viteza de injectare şi viteza de închidere a matriţei.

Distribuitorul D_6 asigură protecţia matriţei la o anumită poziţie de închidere a matriţei este activat electromagnetul Mg_{21}, astfel o parte din uleiul hidraulic al motorului hidraulic MH_1 este dirijat la rezervorul de ulei. Prin supapa de reglare a presiunii Sp_6 se poate regla presiunea de siguranţă a matriţei.

La închiderea matriţei, la câţiva milimetri distanţă între cele două semimatriţe, un

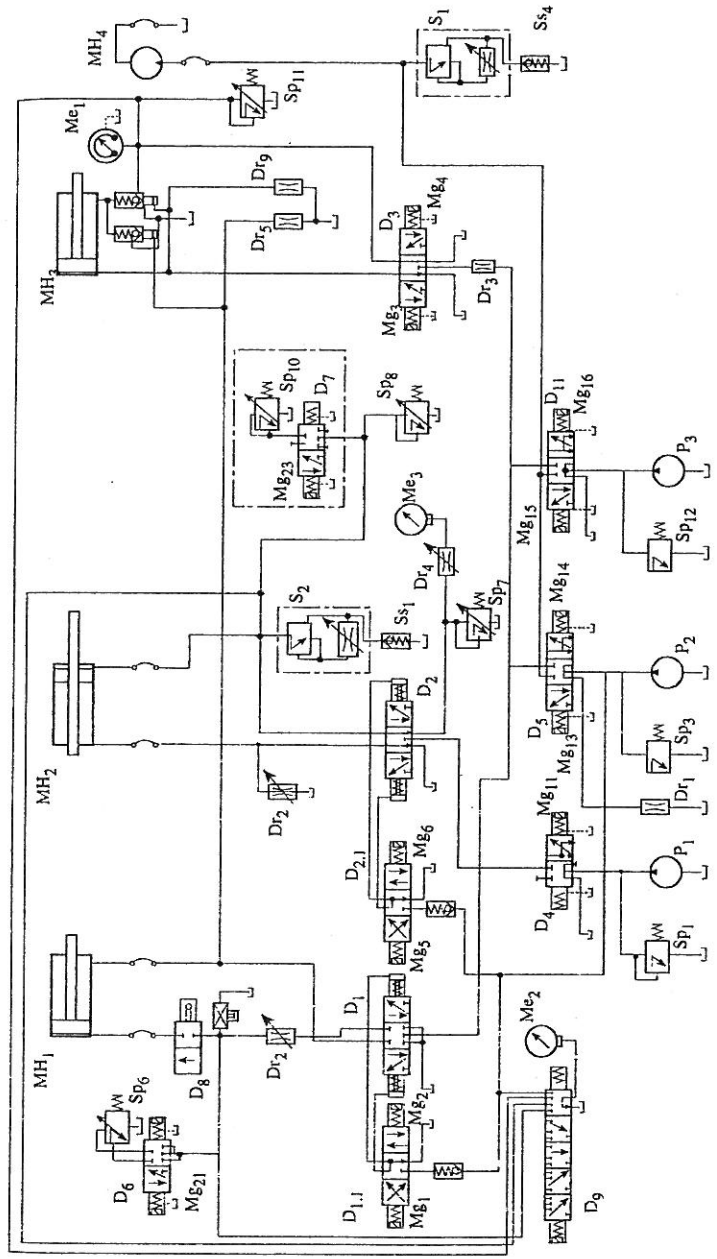


Fig.3.166. Schema hidraulică a unei maşini de injectat (Kuasy 260/100):
MH_1...MH_4 - motoare hidraulice; P_1...P_4 - pompe hidraulice; D_1...D_{11} - distribuitoare hidraulice; Dr_1...Dr_9 - drosele;
Sp_1...Sp_{11} - supape de reglare a presiunii; S_1...S_2 - supape de reglare; Ss_1...Ss_4 - supape de sens; Mg_1...Mg_{23} - electromagneţi.

limitator de cursă întrerupe circuitul electromagnetului Mg_{21}, astfel încât distribuitorul D_6 ajunge în poziţie iniţială, făcând posibilă realizarea presiunii de închidere.

După terminarea operaţiei de injectare, electromagnetul Mg_{23} al distribuitorului D_7 este umplut şi poate fi aplicată presiunea ulterioară. În acest caz presiunea uleiului din cilindrul de injectare se poate regla cu supapa de reglare a presiunii Sp_{10}.

Supapa de reglare a presiunii Sp_7 serveşte la reglarea presiunii de retragere a melcului, iar supapa de reglare a presiunii Sp_8 serveşte la reglarea presiunii de injectare.

Manometrul de contact Me_1 dă impulsul la injectare atunci când duza maşinii exercită o anumită presiune pe duza maşinii de injectat.

Forţa de apăsare a duzei se poate regla prin supapa de reglare a presiunii Sp_{11}.

Supapa cu mai multe poziţii D_9 acţionată manual, protejează manometrul şi conectează punctele de măsură. În afară de comanda hidraulică convenţională, la maşinile de injectat se foloseşte comanda cu elemente hidraulice proporţionale şi comanda cu elemente hidraulice digitalice [72].

În general avantajele hidraulicii proporţionale aplicate comenzilor maşinii de injectat prezintă multiple avantaje:

- posibilităţi largi de folosire a comenzilor electrice;
- capacitatea de comandă la distanţă;
- posibilităţi largi de programare;
- economie de spaţiu ca urmare a gabaritului redus al elementelor proporţionale;
- economii financiare.

Tab.3.3. **Programul de lucru a maşinii de injectat prezentată în *fig.3.166.***

Direcţia mişcării	Electromagnet/ proces de lucru	1	2	3	4	5	6	11	13	14	15	16	21	23
MH_1	Închidere matriţă cu P_2	L	0	0	0	0	0	0	0	L	0	0	0	0
	Închidere matriţă cu P_1	L	0	0	0	0	0	L	0	0	0	0	0	0
	Închidere matriţă cu P_1+P_2	L	0	0	0	0	0	L	0	L	0	0	0	0
	Închidere matriţă cu $P_1+P_2+P_3$	L	0	0	0	0	0	L	0	L	L	0	0	0
	Siguranţă matriţă	L	0	0	0	0	0	(L)	0	L	(L)	0	0	0
MH_3	Unitate de plastifiere	0	0	L	0	0	0	0	0	L	0	0	0	0
MH_2	Injectarea	0	0	0	0	L	0	(L)	0	L	(L)	0	0	0
MH_2	Presiune ulterioară	0	0	0	0	L	0	0	0	L	0	0	0	L
MH_4	Rotirea melcului	0	0	0	0	0	0	0	L	0	0	(L)	0	0
MH_3	Retragerea unităţii de plastifiere	0	0	0	L	0	0	0	0	L	0	0	0	0
MH_2	Retragerea hidraulică a melcului	0	0	0	0	0	L	0	0	L	0	0	0	0
MH_1	Deschiderea matriţei	0	L	0	0	0	0	(L)	0	L	(L)	0	0	0

LEGENDĂ: *L = electromagnet acţionat; 0 = electromagnet neacţionat.*

3.5. Acţionarea electrică. Comanda electrică şi electronică

3.5.1. Acţionarea electrică

Sistemul de acţionare electrică al unei maşini de injectat constă din motor electric, aparate de comandă şi elementele mecanice care transmit mişcarea la organele de lucru ale maşinii. La o maşină de injectat se folosesc în general motoare electrice asincrone pentru acţionarea pompelor hidraulice şi uneori pentru acţionarea melcului, a mecanismelor de reglare a înălţimii de montare a matriţei, a grilajelor de protecţie, etc.

3.5.2. Comanda electrică

La o maşină de injectat, pentru realizarea unei piese injectate, este necesar ca diferitele mişcări ale organelor de lucru (sistemul de injectare, sistemul de închidere, etc.) să fie coordonate. O conducere corectă, într-o ordine strictă a succesiunii operaţiilor unei maşini de injectat se realizează cu ajutorul unor elemente de comandă de tip electric sau electronic.

Elementele de acţionare electrică şi elementele de comandă electrică sau electronică intră în componenţa schemelor electrice de acţionare şi a circuitelor de comandă.

3.5.2.1. Elemente ale comenzilor electrice

Aparatajul cuprins în schemele electrice şi de comandă poate fi:

- elemente de conectare a acţionării;
- elemente de protecţie a acţionării;
- aparataj de comutaţie şi comandă;
- aparataj de protecţie şi semnalizare în circuitul de comandă;
- dispozitive de limitare;
- cuplaje şi frâne electromagnetice;
- transformatoare.

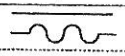
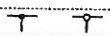
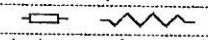
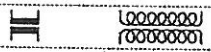
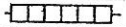
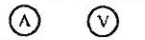
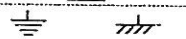
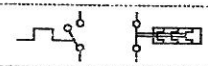
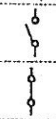
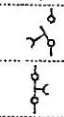
Pentru întocmirea schemelor de acţionare şi a circuitelor de comandă se folosesc scheme convenţionale (*tab.3.4*). În cele ce urmează se vor prezenta pe scurt câteva din elementele schemelor electrice de acţionare şi comandă [75].

Electromagneţi. Electromagneţii intră în componenţa mai multor genuri de aparate electrice, cum sunt: contactoarele, ruptoarele, întrerupătoarele automate, ambreiajele şi frânele electromagnetice. Ele intră în componenţa distribuitoarelor electrohidraulice din circuitele de comandă hidraulică.

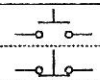
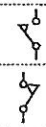
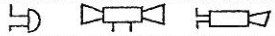
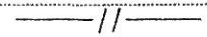
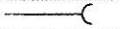
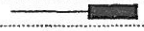
Circuitul magnetic al unui electromagnet se compune dintr-o armătură fixă pe care se concentrează liniile de forţă produse de o bobină şi o armătură mobilă care se cuplează cu elementul acţionat.

După felul curenţilor, electromagneţii se clasifică:

Tab.3.4. Semne convenţionale folosite la întocmirea echemelor electrice şi electronice.

Nr.	Semn convenţional	Denumirea semnului
1.		Conductori sau grup de conductori Conductor flexibil
2.		Borne
3.		Derivaţii simple de conductori
4.		Intersecţii de conductori
5.		Întâlnire de conductori
6.		Impedanţă, rezistenţă
7.		Transformator
8.		Releu, bobină
9.		Bobină cu releu de temporizare la acţionare
10.		Bobină cu releu de temporizare la revenire
11.		Lampă de semnalizare
12.		Redresor
13.		Motor de curent continuu
14.		Motor electric asincron
15.		Întrerupător general
16.		Cleme de şir
17.		Aparat indicator: ampermetru, voltmetru, wattmetru
18.		Siguranţă fuzibilă
19.		Electromagnet
20.		Legare la pământ
21.		Contact acţionat de releu termic
22.		Contact de sfârşit de cursă
23.		normal deschis normal închis contact
24.		normal deschis normal închis contact cu temporizare la închidere
25.		normal deschis normal închis contact cu temporizare la deschidere

Tab.3.4. Continuare.

Nr.	Semn convenţional	Denumirea semnului
26.		normal deschis normal închis buton de comandă
27.		normal deschis normal închis (ruptor) contactor
28.		sonerie, sirenă, lampă
29.		condensator
30.		priză
31.		fişă
32.		fişă şi priză asamblate

- electromagneţi de acţionare pentru curent continuu;
- electromagneţi de acţionare pentru curent alternativ.

Electromagneţii pot acţiona prin tragere sau împingere.

Relee. Releele sunt aparate electrice prin intermediul cărora se pot transmite diferite comenzi electrice pentru a stabili sau întrerupe, imediat sau după un anumit timp reglabil (temporizat), continuitatea unui circuit care alimentează de obicei bobinele contactoarelor sau automatelor de protecţie.

După principiul de funcţionare releele pot fi electromagnetice, polarizate, magneto-electrice, termice, electrohidraulice, etc., iar după numărul contactelor ele pot fi cu două sau mai multe contacte.

Releele electromagnetice sunt formate în general dintr-o bobină înfăşurată în jurul unui miez. În momentul în care bobina este străbătută de curent, miezul bobinei se magnetizează şi atrage armătura releului solidară cu un sistem de contacte.

Releele termice sunt caracterizate prin aceea că au acţiune temporizată, care comandă închiderea şi deschiderea unui circuit în funcţie de temperatura provocată de trecerea unui curent prin conductori de alimentare ai motoarelor electrice pentru acţionarea maşinii de injectat. Tipul de relee termice care se utilizează frecvent sunt cele cu bimetal.

Contactoare. Contactoarele sunt aparate pentru comandă de la distanţă, care funcţionează sub acţiunea unui electromagnet şi au rolul de a închide un circuit datorită unei comenzi din afară, menţinându-se închis atâta timp cât durează această comandă.

Ruptoarele sunt contactoare care realizează operaţia inversă, adică deschid circuitul sub acţiunea unei comenzi, menţinându-l deschis pe toată durata cât comanda este exercitată. Este un aparat de comutaţie de comandă automată.

Comutatoare. Comutatoarele sunt formate dintr-un ansamblu de întrerupătoare care dintr-o singură acţionare închid sau deschid mai multe circuite. Este un aparat de comutaţie cu comandă manuală.

Butoane de comandă şi chei de comandă. Butoanele de comandă se folosesc pentru închiderea sau deschiderea manuală a circuitelor de comandă la acţionarea maşinilor de injectat.

Asemenea aparate pot fi:

- cu contacte normal deschise şi cu revenire automată în poziţia „deschis"

după ce apăsarea de buton a încetat;

- cu contacte normal închise şi cu revenire automată.

Cheile de comandă sunt aparate cu comandă manuală care se realizează atât pe principiul rotirii, cât şi pe principiul translaţiei.

Siguranţe fuzibile. Siguranţele fuzibile sunt astfel construite încât atunci când valoarea curentului depăşeşte o anumită limită să le topească întrerupând circuitul de alimentare al maşinii de injectat pe care o protejează.

La motoarele maşinii de injectat creşterea excesivă a curentului poate fi provocată de o încărcare prea mare a maşinii, de un defect de bobinaj, legarea greşită la reţea sau deteriorarea izolaţiei. Toate circuitele de forţă şi lumină se prevăd cu siguranţe.

Siguranţele fuzibile sunt prevăzute cu un fir fuzibil calibrat în funcţie de valoarea nominală a curentului de serviciu şi a curentului de topire. La valoarea nominală fuzibilul ajunge la o temperatură constantă care nu-i provoacă deformaţia; valoarea de topire reprezintă valoarea curentului la care fuzibilul se topeşte.

Dispozitive de limitare. Conectarea şi deconectarea mişcării elementelor mobile ale maşinii de injectat (mecanismul de închidere, masa maşinii, mecanismul de aruncare hidraulică, etc.) se poate realiza prin cuplarea sau decuplarea circuitelor de acţionare. În acest scop, în circuitele electrice de comandă ale maşinii de injectat se folosesc limitatoare de cursă care au rolul de a închide şi deschide circuitul electric corespunzător în momentul în care un element mobil al maşinii a atins o anumită poziţie. Aceste aparate se mai numesc comutatoare de cursă sau întrerupătoare de capăt de cursă.

Limitatoarele de cursă pot fi:

- simple; acestea acţionează treptat pe măsură ce asupra lor se exercită acţiunea elementului mobil al maşinii;

- cu acţiune instantanee; acestea intră în acţiune înstantaneu în momentul în care acţiunea exercitată asupra lor atinge o anumită valoare.

Limitatoarele simple se folosesc în cazul în care viteza elementelor mobile care acţionează asupra lor depăşeşte 0,4 m/min. În cazul unor viteze mai mici se produce o uzură pronunţată a bornelor de contact din cauza formării unor arcuri electrice cu acţiune îndelungată. În aceste cazuri se preferă limitatoare cu acţiune instantanee, care se mai numesc microlimitatoare sau microîntrerupătoare.

Limitatoarele pot fi prevăzute cu contacte normal deschise sau normal închise.

Pentru a asigura diferitele regimuri de lucru pentru mecanismul de închidere al unei maşini de injectat este nevoie de mai multe microîntrerupătoare care se montează

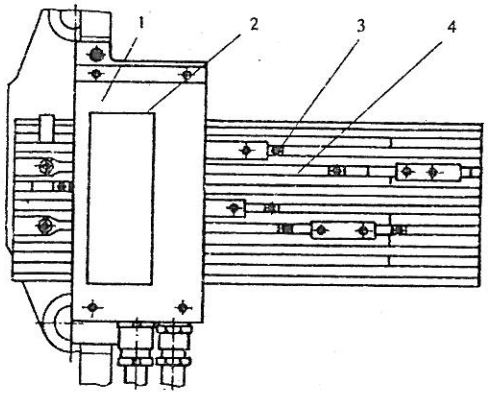


Fig.3.167. Sistem de microîntrerupătoare la o maşină de injectat:
1 - sistem de închidere;
2 - blocul microîntrerupătoarelor;
3 - placă suport; 4 - camă.

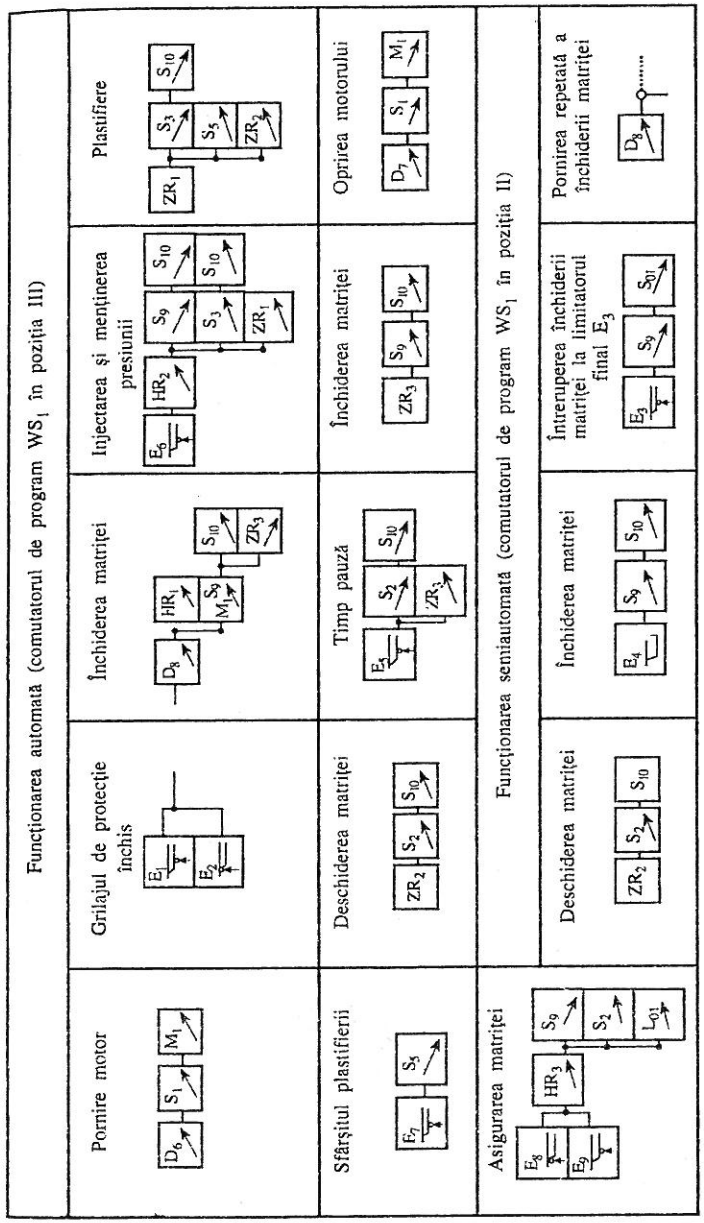


Fig.3.168. Limitatoare de cursă la maşina de injectat KUASY 105/32:
E_1...E_9 - limitatoare de cursă; S_1...S_{10} - contacte; M - motor electric; HR - releu; D - buton; ZR - releu de timp.

pe un bloc de programare. Fiecare microîntrerupător, aflat în blocul solidar cu batiul maşinii, poate fi acţionat de către o camă reglabilă montată pe o placă suport solidară cu mecanismul în mişcare (*fig.3.167*). La sistemul de injectare se montează limitatoare de cursă cu care se stabileşte cursa mesei maşinii, precum şi cursa şi regimul de lucru al melcului maşinii de injectat (*fig.3.168*). Limitatoarele de cursă sunt montate de asemenea la sistemul de protecţie al maşinii de injectat (cap.3.7).

Contacte electrice. Aparatele electrice destinate închiderii şi deschiderii de circuite electrice trebuie să posede contacte capabile să suporte solicitările produse în timpul funcţionării.

Din punct de vedere funcţional, contactele pot fi:

- fixe sau permanente, care au rolul de a realiza continuitatea circuitelor; se realizează prin sudare, lipire, strângere cu şuruburi sau prin apăsare;
- de întrerupere, cu rolul de a întrerupe sau stabili circuitele electrice;
- de alunecare, având rolul de a stabili circuitul electric între două piese de contact care se mişcă una faţă de alta.

3.5.2.2. Scheme electrice de comandă

În schema electrică a unei maşini de injectat, elementele electrice ce compun schema sunt corelate cu schemele hidraulice corespunzătoare pentru a asigura mişcările principale ale maşinii (sistem de închidere, sistem de injectare) precum şi sistemul de protecţie.

În *fig.3.169* este prezentată schema electrică maşinii de injectat KUASY 105/32.

În schemă sunt bine delimitate următoarele funcţiuni:

- funcţionarea electromotorului ce acţionează pompele;
- încălzirea cilindrului de injectare;
- acţionarea electromagneţilor supapelor hidraulice;
- comanda.

Elementele de acţionare ale maşinii sunt releele electromagnetice care au semnificaţia prezentată în *tab.3.5*.

Între reţeaua de comandă şi reţeaua de alimentare se găseşte un transformator de protecţie. Cuplarea maşinii de injectat se face de la întrerupătorul primcipal H_{ps}, iar starea conectată este semnalizată de becul L_{02}.

Prin releele $S_6...S_8$ se pun în funcţiune corpurile de încălzire $R_1...R_5$. După apăsarea butonului D_6, se acţionează releul S_1 şi astfel se porneşte motorul M_1.

Releul S_1 se automenţine şi electromotorul funcţionează şi după ce se încetează apăsarea butonului D_6.

Tab.3.5. **Semnificaţia releelor electromagnetice ale maşinii de injecatat KUASY 105/32.**

Simbol releu	Unitate de acţionare
S_1	electromotor pompe
S_2	deschidere matriţă
S_3	injectare
S_4	retragere hidraulică
S_5	rotire melc
S_6	corp de încălzire
S_7	corp de încălzire
S_8	corp de încălzire
S_9	închidere matriţă
S_{10}	supapă de sens pentru eliminarea mersului în gol

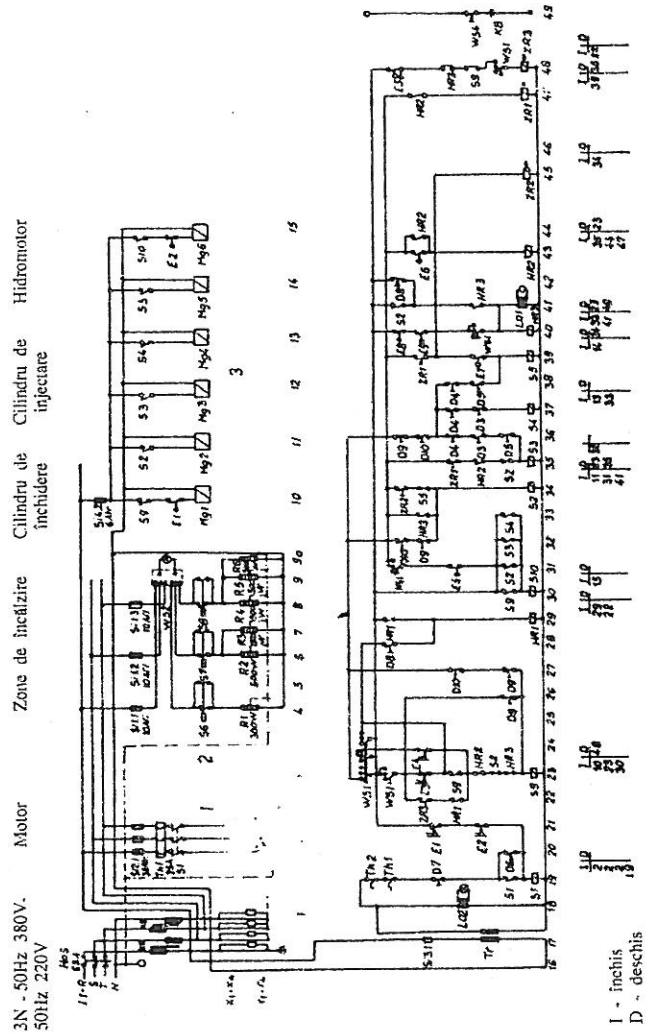


Fig.3.169. Schema electrică a maşinii de injectat KUASY 105/32:
$E_1...E_9$ - limitatoare de cursă; $S_1...S_{10}$ - contacte; M - motor electric; HR - releu; D - buton; ZR - releu de timp.

Tab.3.6. Elemente de conectare şi operaţiile efectuate în schema electrică a maşinii *KUASY 105/32.*

Elemente de conectare	Semnul	Operaţia	Contact închis	Contact deschis
Buton	D_9	Închidere matriţă	27	32,36
	D_4	Retragere melc	37	36,38
	D_5	Plastifiere	38	36
	D_6	Conectare motor	20	
	D_7	Totul conectat		19
	D_8	Pornire	28,26	42
	D_3	Injectare	36	37
	D_{10}	Deschidere matriţă	32	27,36
Limitatoare	E_1	Deconectat comenzile (grilaj deschis)	21	
	E_2	Deconectat comenzile		21
	E_3	Întreruperea închiderii matriţei		23
	E_4	Pornirea închiderii matriţei şi eliberarea aruncătorului	24	
	E_5	Întreruperea deschiderii matriţei	48	31
	E_6	Injectarea	43	
	E_7	Întreruperea plastifierii		39
	E_8	Siguranţa matriţei		40
	E_9	Siguranţa matriţei	40	
Relee de timp	ZR_1	Timp de presiune ulterioară		
	ZR_2	Timp de răcire		
	ZR_3	Timp de pauză		
WS_1 întrerupătoare de program	I	Manual		
	II	Semiautomat		
	III	Automat		
WS_2 întrerupătoare de program	I	Ampermetru		
	II	Zona I de încălzire		
	III	Zona II de încălzire		
	IV	Zona III de încălzire		
WS_3 întrerupătoare de program	I	ZR_2 releu de timp 1...30 sec		
	II	ZR_2 releu de timp 4...130 sec		

Celelate elemente pot funcţiona când grilajul de protecţie este închis şi limitatoarele de cursă E_1 şi E_2 sunt în poziţii corespunzătoare.

Comutatorul de programe WS_1 este astfel orientat:

- program manual - poziţie stânga;
- program semiautomat - poziţie mijlocie;
- program automat - poziţie dreapta.

Elementele de conectare şi operaţiile efectuate pot fi urmărite în *tab.3.6.*

Prin studierea schemei electrice din *fig.3.169* şi a planului de funcţionare din *fig.3.168* poate fi urmărită funcţionarea maşinii de injectat.

3.5.3. Comanda electronică

S-a studiat în capitolul anterior comanda electrică clasică care principial se compune

din bobine magnetice şi contacte legate în serie sau paralel. Timpul necesar acţionării unui contact este de aproximativ 0,085 sec. care pare scurt, însă, în realizarea unei anumite comenzi intră mai multe contacte care fac comanda lentă.

Este o legătură directă între ciclul de lucru al maşinii de injectat şi timpul afectat comenzii, astfel încât o comandă rapidă determină o reducere a ciclului de lucru [13]. Comenzile electronice presupun înlocuirea contactelor clasice cu circuite electronice. Comenzile electronice faţă de comenzile electrice prezintă mai multe avantaje:

- longevitatea este aproape nelimitată şi independentă de frecvenţa comutărilor şi de numărul operaţiilor;
- fiabilitatea ridicată a elementelor de comandă;
- viteza de lucru a maşinii creşte ca urmare a tratării rapide a semnalelor; comanda electronică realizează timpi mai rapizi de o sută de ori decât comanda clasică cu releu;
- înalta precizie şi reproductibilitatea exactă a comenzilor electronice, asigură optimizarea şi constanţa parametrilor tehnologici;
- spaţiul redus ocupat de elementele comezilor electronice.

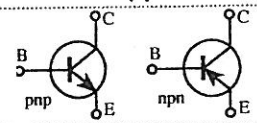
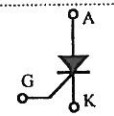
Comenzile electronice ale unei maşini de injectat cuprind o serie de elemente specifice: diode semiconductoare, tranzistoare, tiristoare, dispozitive semiconductoare optoelectronice, circuite integrate, etc.

În continuare se vor prezenta pe scurt câteva din elementele principale ale comenzilor electronice (*tab.3.7*).

Dioda semiconductoare. O joncţiune pn se obţine prin anumite procedee tehnologice, prin care o regiune a reţelei cristaline a elementului de bază (de exemplu germaniu) se dotează cu impurităţi acceptoare şi devine un semiconductor de tip *p*, iar cealaltă regiune a aceleiaşi reţele cristaline a elementului de bază se dotează cu impurităţi donoare, devenind un semiconductor de tip *n* [77]. În vecinătatea suprafeţei de contact a celor două regiuni, golurile şi electronii majoritari difuzează.

Comportarea unei joncţiuni pn la polarizare inversă şi directă se comportă ca o diodă electronică, ea numindu-se diodă semiconductoare. Ea se foloseşte în circuitul de redresare a curentului alternativ ca diodă redresoare. Dacă la o joncţiune pn concentraţiile impurităţilor în regiunile *n* şi *p* sunt mai mari decât la dioda clasică, dioda poate

Tab.3.7. **Simboluri folosite în comenzile electronice.**

Nr.	Simbol	Denumire
1.		Dioda semiconductoare
2.		Tranzistor
3.		Tiristor
4.		Diodă fotoemisivă (LED)

fi folosită ca diodă stabilizatoare de tensiune (efect Zener).

Simbolul diodei semiconductoare este prezentată în *tab.3.7.*

Tranzistorul. Tranzistorul este un dispozitiv semiconductor cu trei terminale (borne) capabil să producă o amplificare liniară a semnalelor electrice. Există o mare varietate de tranzistoare ce diferă între ele prin construcţie, principiu de funcţionare, caracteristici şi parametri. De obicei, tranzistoarele se împart în două mari categorii:

- tranzistoare bipolare, la funcţionarea cărora iau parte concomitent ambele tipuri de purtători, electroni şi goluri;
- tranzistoare unipolare, la funcţionarea cărora participă un singur tip de purtător.

Simbolul tranzistorului este prezentat în *tab.3.7.*

Tiristorul este un dispozitiv semiconductor multistrat cu structură pnpn. El are trei electrozi numiţi anod, catod şi grilă sau poartă. Grila de comandă a amorsării tiristorului se aplică pe zonele de mijloc de tip *p* sau *n*. Simbolul tiristorului este prezentat în *tab.3.7.*

Dioda fotoemisivă sau electroluminiscentă (LED) este o joncţiune pn polarizată direct, care transformă energia electrică în energie luminoasă (monocromatică), în mod direct. Când o astfel de joncţiune este polarizată direct, purtătorii minoritari injectaţi difuzează în zona neutră şi se recombină cu purtători majoritari, dând naştere la radiaţii luminoase. Lungimea de undă a radiaţiilor este în funcţie de materialul cristalin şi modul de dopare. Modul de simbolizare este prezentat în *tab.3.7.*

Circuite integrate. Circuitul integrat reprezintă o unitate constructivă inseparabilă de microelemente interconectate electric, plasate cu mare densitate în volumul sau pe suprafaţa unei baze comune. Există o mare diversitate constructivă şi funcţională a circuitelor integrate [78].

Complexitatea circuitului integrat se apreciază ţinând cont de:

- numărul de microelemente ale circuitului integrat;
- numărul şi complexitatea funcţiilor îndeplinite;
- complexitatea tehnologiei de fabricaţie.

Principalele performanţe şi întrega structură a circuitului integrat sunt date de principalul element activ: tranzistorul.

Circuite imprimate. Circuitul imprimat este o placă cu cablaj imprimat pe care se montează componentele electronice. Pe plăcile cu circuite imprimate se montează atât componente electronice speciale destinate acestui scop, cât şi componente electronice obişnuite care se întâlnesc în aparatele electronice: rezistenţe fixe şi variabile, condensatoare, tranzistoare, diode, etc. Legătura între diferitele componente ale circuitului se realizează cu ajutorul conductorului imprimat, care constituie elementul de bază al circuitului. Există mai multe metode de realizare a cablajelor circuitelor imprimate [79].

Prin metoda circuitelor imprimate pot fi realizate într-un circuit o serie de componente electronice specifice: bobine imprimate, condensatoare fixe şi variabile, comutatoare, conectoare. Circuitele imprimate pot avea legătură electrică cu alte circuite imprimate, cu cabluri, cu fire flexibile, sau se pot conecta prin dispozitive terminale speciale.

3.5.4 Dulapuri de comandă

Elementele de comandă electrice sunt montate în dulapul maşinii pe suporturi, legătura între ele făcându-se prin cablu electric.

Elementele de comandă electronică ale unei maşini de injectat sunt, în general, montate pe cartele.

Cartelele maşinii sunt montate în dulap pe mai multe etaje, având funcţii multiple. În vederea montării unor variante constructive se lasă spaţiu pentru cartele suplimentare.

Poziţiile de cuplare ale limitatoarelor de cursă, electromagneţilor, tensiunilor de comandă sunt semnalizate în dulapul de comamdă prin lămpi de semnalizare sau diode luminiscente.

De asemenea se semnalizează tot cu lămpi sau diode lumiscente deranjamentele din circuitele maşinii. Pentru uşurinţa depistării defecţiunilor, pe panoul dulapului este figurată silueta maşinii, iar locurile supravegheate sunt poziţionate cu becuri sau diode lumiscente.

Aparatele de comandă pentru deservirea maşinii sunt dispuse atât pe maşină cât şi în dulapul de comandă. Dulapul de comandă poate fi montat direct pe şasiul maşinii sau în poziţie separată.

Dulapul este prevăzut cu uşi asigurându-se o bună accesibilitate. Între dulapul de comandă şi maşină se află cabluri de legătură fixate prin cleme sau fire. Dulapurile de comandă electronică ocupă spaţii reduse în comparaţie cu dulapurile de comandă electronică.

3.6. Batiul maşinii

Batiul maşinii este construcţia mecanică care serveşte ca suport subansamblurilor componente ale maşinii (sistemul de închidere, sistemul de injectare, etc.).

În cap.3.1. s-a făcut o prezentare a tipurilor constructive de maşini de injectat. În funcţie de tipul constructiv al maşinii există batiuri diferite constructiv. În cele ce urmează se fac referiri la batiurile maşinilor de injectat orizontale cu acţionare electrohidraulică, grupa majoritară a maşinilor de injectat.

În funcţie de constructor există mai multe variante constructive de batiuri [19, 20, 21, 60, 74].

Batiul maşinii se realizează în construcţie sudată, dintr-o bucată pentru maşinile de dimensiuni mici şi medii, sau din două bucăţi pentru maşinile de dimensiuni mari.

Batiul susţine sistemul de injectare, sistemul de închidere, sistemul de acţionare hidrostatic, bazinul de ulei, sistemul de acţionare electric, sistemul de comandă electric sau electronic (în unele cazuri), aparatura de măsură şi control, elemente auxiliare diverse.

Batiul maşinii trebuie să îndeplinească următoarele deziderate:

- construcţia să fie robustă pentru a asigura stabilitatea maşinii în repaus şi în mişcare;
- să permită fixarea maşinii pe podeaua halei de lucru prin şuruburi de fundaţie sau pe suporturi elestice;
- să permită accesul cu uşurinţă la elementele de acţionare şi comandă ale maşinii;
- să asigure scoaterea pieselor injectate şi a reţelelor aruncate din matriţă.

Pentru acoperirea elementelor cuprinse în interiorul său (bazin de ulei, elemente de comandă şi acţionare hidraulică) se folosesc capace din tablă fixate cu şuruburi sau uşi pivotante.

3.7. Elemente auxiliare ale maşinii de injectat

În afară de părţile principale ale maşinii de injectat, maşina necesită şi alte instalaţii, dispozitive şi aparate necesare procesului tehnologic: sistemul de protecţie, dispozitivele de prindere a matriţei, dispozitivele de transport şi uscare a granulelor, etc.

3.7.1. Sistemul de protecţie

La o maşină de injectat există două sisteme de protecţie:
- sistemul de protecţie al operatorului;
- sistemul de protecţie al matriţei.

3.7.1.1. Sistemul de protecţie al operatorului

În timpul procesului de injectare există pericolul intervenţiei operatorului asupra elementelor în mişcare ale maşinii (sistemul de închidere, sistemul de injectare).

În *fig.3.170.* este prezentat sistemul de protecţie al operatorului la o maşină de injectat. Capacul *1* protejează operatorul de elemente în mişcare ale sistemului de închidere (mecanism de închidere, mecanism de zăvorâre, etc.). Capacul în poziţie închisă apasă asupra unor limitatoare de cursă aflate în circuitul electric al maşinii. La ridicarea capacului şi eliberarea limitatoarelor, comanda electrică nu mai este posibilă. Grilajul *2* împiedică intervenţia operatorului în zona de închidere a matriţei în timpul funcţionării maşinii în program semiautomat sau automat. La program manual grilajul se poate ţine şi în poziţia deschis. Grilajul poate fi adus de operator în poziţia deschis sau închis cu ajutorul unui mâner, deplasarea grilajului făcându-se cu ajutorul unor role pe şine fixate pe batiul maşinii. Mişcarea la închidere şi deschidere este limitată de tampoane de cauciuc. Pe cele două laterale ale maşinii grilajul prezintă două ferestre mari închise cu material plastic transparent prin care operatorul poate privi în zona de lucru a matriţei.

Grilajul de protecţie prezintă:

- siguranţă electrică ca urmare a acţionării în poziţie închisă şi deschisă a unor limitatoare de cursă aflate în circuitul electric al maşinii (poz. *7 fig.3.170*)
- siguranţă hidraulică ca urmare a existenţei unui distribuitor hidraulic acţionat de grilaj (poz. *4 fig.3.171*).

În poziţia închisă a grilajului supapa hidraulică de siguranţă este acţionată şi comanda hidraulică e posibilă, iar la deschiderea grilajului supapa hidraulică împiedică trecerea uleiului prin circuitul hidrauiic. Capacul de protecţie *5* serveşte pentru protejarea operatorului de stropire cu material plastic din zona duzei de injectare a cilindrului. Capacul este dotat cu vizor şi poate fi basculat manual de către operator cu ajutorul unui mâner. În poziţie închisă acţionează un limitator care este introdus în circuitul electric al comenzii de injectare. Capacul *6* serveşte pentru protecţia operatorului în zona sistemului de reglaj a cursei melcului.

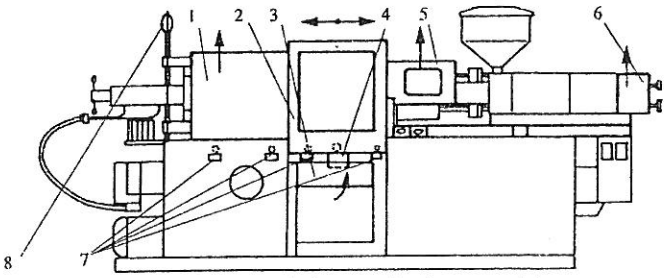


Fig.3.170. Sistemul de protecţie al operatorului:
1 - capac; 2 - grilaj; 3 - panou; 4 - supapă hidraulică de siguranţă; 5 - capac; 6 - capac; 7 - limitator de cursă; 8 - bec de semnalizare.

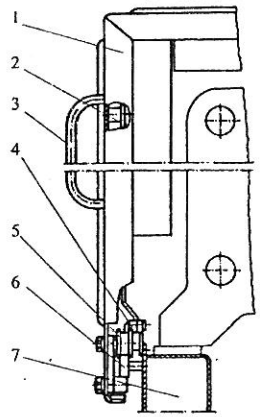


Fig.3.171. Grilaj de protecţie al maşinii de injectat:
1 - corp grilaj; 2 - tampon; 3 - mâner; 4 - tijă basculantă de acţionare a supapei hidraulice; 5 - rolă; 6 - şină; 7 - batiu maşină.

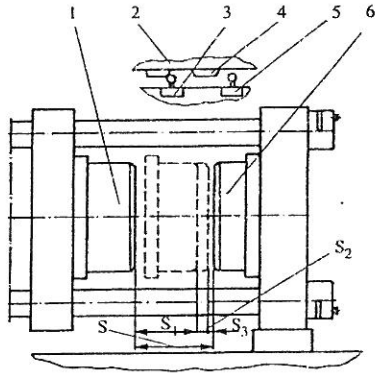


Fig.3.172. Siguranţa matriţei:
1 - semimatriţă mobilă; 2 - camă; 3 - limitator de cursă; 4 - camă; 5 - limitator de cursă; 6 - semimatriţă fixă.

Capacul acţionează un limitator de cursă aflat în circuitul electric de comandă a injectării. Panoul de protecţie *3* protejează operatorul împotriva intervenţiei pe sub grilajul de protecţie din zona colectării pieselor injectate. Capacul acţionează un limitator de cursă aflat pe circuitul de comandă a închiderii.

3.7.1.2. Sistemul de protecţie a matriţei

În timpul închiderii matriţei există pericolul ca piesa injectată, reţeaua, inserţia sau bucăţi din matriţă, rupte accidental, să se afle între cele două semimatriţe. Ca urmare a presiunii exercitate de sistemul de închidere, există pericolul ca orice element străin aflat în zona activă să fie prins şi presat, determinând astfel distrugerea matriţei.

Principiul reglării siguranţei matriţei poate fi urmărit în *fig.3.172.* Semimatriţa mobilă *1* străbate prima parte a cursei de închidere S_1 cu o viteză mare şi forţă de închidere mică. Când camа *2* acţionează limitatorul de cursă *3*, maşina primeşte comandă

electrică şi în circuitul hidraulic este acţionată o supapă care determină sistemul de închidere să aibă viteză mică şi forţă de închidere redusă (cursa S_2). Ultima parte a cursei de închidere S_3 (câţiva milimetri), ca urmare a acţionării limitatorului de cursă *5* de către cama *4*, se primeşte o comandă electrică şi în circuitul hidraulic este acţionată o supapă care determină ca sistemul de închidere să fie cuplat la presiune hidraulică înaltă. Astfel matriţa se închide cu viteză mică şi forţă de închidere mare. Dacă un obiect rămâne în zona de închidere a matriţei, datorită dimensiunilor sale el va fi prins între cele două semimatriţe. În zona S_2 obiectul este presat între cele două părţi ale matriţei cu presiune mică, fără să se producă deteriorări în zona planului de separaţie. Circuitul hidraulic este astfel conceput încât supapa de reglare a presiunii siguranţei matriţei să poată fi reglată foarte discret într-un domeniu scăzut al presiunii (0...25 kgf/cm^2). Prinzându-se obiectul între cele două semimatriţe, maşina nu poate continua cursa de închidere. În circuitul electric al maşinii închiderea fiind temporizată, după un timp se primeşte comanda de deschidere a matriţei. După deschiderea matriţei, datorită acestui deranjament sesizat, ciclul automat nu se mai reia.

Există posibilitatea, în funcţie de maşină, ca acest deranjament sa fie sesizat operatorului prin semnalele luminoase ale unei lămpi de avertizare (*fig.3.170*) sau prin semnale sonore. După înlăturarea deranjamentele din zona matriţei, ciclul se reia printr-o nouă comandă dată de operator.

3.7.2. Dispozitive de prindere a matriţei

Constructorii maşinilor de injectat au făcut eforturi pentru a creşte productivitatea muncii şi prin reducerea timpilor de staţionare a maşinii la montarea matriţei de injectat [32, 33]. Există mai multe soluţii de prindere a matriţei (*fig.3.173*).

În afara soluţiilor de prindere cu bride şi a prinderii directe cu şuruburi, în ultimul timp s-au introdus soluţii de prindere rapidă care elimină bridele. În acest caz se impune un anumit sistem de tipizare a matriţelor.

O soluţie constructivă de prindere rapidă este prezentată în *fig.3.174*. Bridele *3* pot fi acţionate câte două, manual, prin mânerul *1* şi tija *2*. Bridele se sprijină pe suportul *7* în interiorul căruia se găseşte şurubul *8* şi arcul *9*. Prin deşurubarea şurubului *8*, arcul *9* împinge brida *3* care poate fi acţionată de mânerul *1* prin tija *2*. Rotindu-se în jurul şurubului *8* brida eliberează placa de prindere a matriţei.

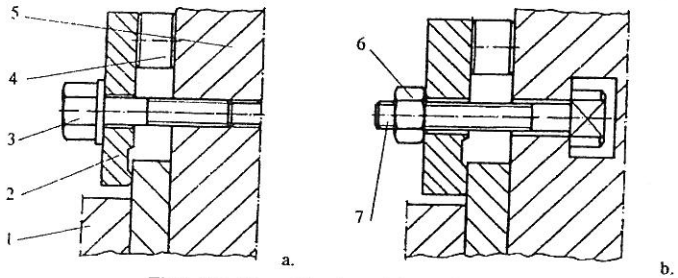


Fig.3.173. Dispozitiv de prindere a matriţei:
a - platou de prindere cu găuri filetate; b - platou de prindere cu canale T; 1 - matriţă; 2 - bridă; 3 - şurub; 4 - tampon; 5 - platou de prindere; 6 - piuliţă; 7 - şurub special

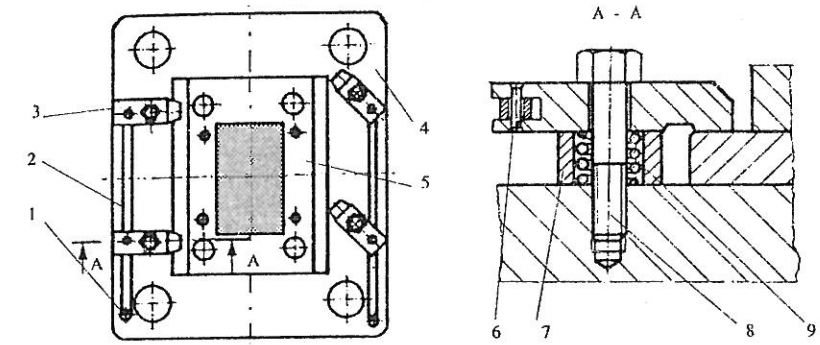


Fig.3.174. Dispozitiv de prindere rapidă: 1 - mâner; 2 - tijă; 3 - bridă basculantă; 4 - platou mobil; 5 - matriţă; 6 - ştift; 7 - suport; 8 - şurub; 9 - arc.

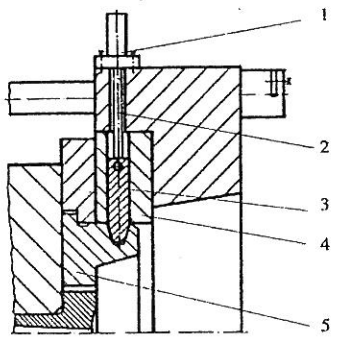


Fig.3.175. Dispozitiv hidraulic de prindere: 1 - cilindru hidraulic; 2 - tijă piston; 3 - pană; 4 - inel de ghidare; 5 - inel de centrare.

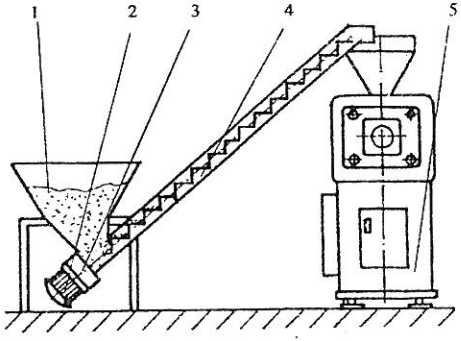


Fig.3.176. Sistem de alimentare cu melc: 1 - buncăr pentru material; 2 - motor electric; 3 - reductor; 4 - melc de transport; 5 - maşină de injectat.

Puse în poziţie de prindere, bridele *3* se strâng cu şuruburile *8*, comprimând arcul *9* şi sprijinindu-se pe suportul *7* realizează fixarea plăcii de prindere a matriţei.

Un alt dispozitiv de prindere rapidă a matriţei în maşină este prezentat în *fig.3.175*. Acest dispozitiv realizează o prindere rapidă, sigură, permiţând utilizarea întregii suprafeţe de prindere a platoului. Matriţa este astfel construită încât are un inel de prindere special *5* care sete prevăzut cu o degajare inelară conică. În această degajare pătrunde pana *3* acţionată de tija *2* a unui cilindru hidraulic *1*. La scoaterea matriţei de pe platou, pana *3* este retrasă din locaş şi inelul de centrare este eliberat.

3.7.3. Sisteme de transport şi uscare a materialului plastic

Materialul plastic ajunge în pâlnia de alimentare manual sau printr-un sistem de transport mecanizat. Alimentarea manuală se foloseşte din ce în ce mai rar.

În *fig.3.176* este prezentat un sistem de alimentare cu material plastic printr-un sistem de alimentare cu melc. Materialul plastic este alimentat în buncărul *1* al sistemului de transport de unde este preluat din partea inferioară a buncărului de către melcul *4* al sistemului de transport. Melcul este rotit de către motorul electric *2* prin intermediul reductorului *3*. Pornirea şi oprirea sistemului de alimentare se face intermitent de către operator funcţie de necesitate. La un sistem automatizat, cu sesizare a nivelului minim şi maxim al materialului plastic din pâlnia de alimentare, nu este necesară intervenţia operatorului.

Materialul plastic poate fi transportat în pâlnia de alimentare a maşinii de injectat şi printr-un sistem pneumatic (*fig.3.177*). Materialul plastic este introdus într-un buncăr etanş *2* unde este adus aer sub presiune de la un grup de pregătire a aerului. Datorită presiunii, aerul transportă granulele de material plastic prin conducta de alimentare *3* în pâlnia de alimentare *5* a maşinii de injectat. Aerul sub presiune, din pâlnia de alimentare, ajunge prin conducta de evacuare *4* din nou în buncărul de alimentare.

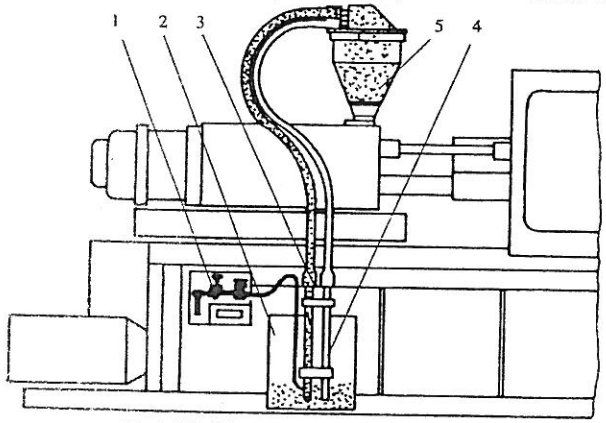


Fig.3.177. Sistem de alimentare pneumatic:
1 - grup de pregătire aer; 2 - buncăr; 3 - conductă de alimentare; 4 - conductă de evacuare; 5 - pâlnie de alimentare.

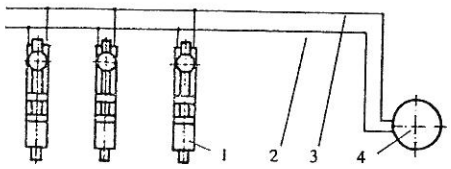


Fig.3.178. Alimentarea colectivă a maşinilor:
1 - maşină de injectat; 2 - conducte de alimentare; 3 - conducte de evacuare aer; 4 - buncăr de material.

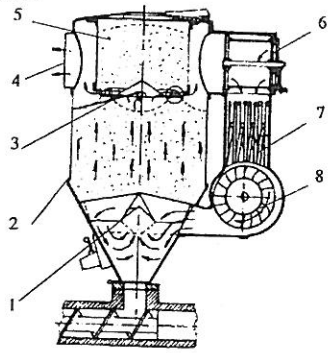


Fig.3.179. Instalaţie de uscat şi preîncălzit granule:
1 - distribuitor; 2 - buncăr; 3 - ventile magnetice; 4 - gură de evacuare a aerului; 5 - buncăr intermediar de depozitare; 6 - ventil pentru aer proaspăt; 7 - bateria de încălzire; 8 - suflantă.

Dacă mai multe maşini de injectat folosesc acelaşi tip de material, se poate folosi un sistem pneumatic de transport şi alimentare de la un buncăr central (*fig.3.178*).

Folosind un sistem de sesizare a nivelului minim şi maxim de material în pâlnia de alimentare a fiecărei maşini, sistemul de alimentare este complet automatizat.

În cazul unor maşini care folosesc material care necesită uscare sau preîncălzire se foloseşte sistemul din *fig.3.179* [73]. Aerul proaspăt aspirat de suflanta *8* este aspirat prin ventilul *6* şi încălzit prin bateria de încălzire *7*. De asemenea este aspirat din buncărul *2* şi aer recirculat. Amestecul de aer este trimis sub presiune prin stratul de material realizând o uscare în pat fluidizat.

3.7.4. Sisteme de distribuţie a apei de răcire

Apa de răcire dedurizată din circuitul industrial ajunge la fiecare maşină printr-un distribuitor (*fig.3.180*). De la distribuitorul maşinii, apa de răcire poate ajunge pe circuite separate la maşina de injectat (bazin de ulei, cilindru, platou, etc.) sau la matriţă. Debitul fiecărui circuit poate fi reglat, iar măsurarea debitului se face cu ajutorul rotametrelor. De la distribuitor la matriţă, apa ajunge prin conducte flexibile de cauciuc.

3.7.5. Instalaţii de temperare a matriţei

Ca medii de temperare se folosesc la temperarea matriţelor apa sau uleiul. Într-o fabrică există în general circuitul de apă industrială care poate fi folosit în legătură cu circuitul de temperare al matriţei. Temperatura asigurată de către acest circuit este cuprinsă în general între 22...28°C. Dacă pe circuitul industrial se foloseşte o staţie de răcire, se poate realiza un domeniu de temperare între 0...30°C. Se ştie însă că domeniul de temperare al matriţelor este cuprins în intervalul de temperatură 0...210°C. Din acest motiv au apărut instalaţii de temperare individuală a matriţei sau de grup.

În *fig.3.181* se prezintă schematic o instalaţie de temperare. Acest tip de instalaţie poate folosi ca mediu de temperare apa (până la 95°C) sau uleiul.

În *fig.3.182* se prezintă schematic un alt tip de instalaţie de temperare. Acest sistem foloseşte ca mediu de temperare apa sau uleiul. Datorită faptului că lucrează sub presiune, se poate ridica temperatura apei până la 150°C. Aparatele moderne posedă şi sistem de aerisire automat.

3.7.6. Sisteme de montare a matriţei

Matriţele de injectat de dimensiuni mici pot fi montate cu ajutorul dispozitivului prezentat în *fig.3.183*. Cârligul *3* al dispozitivului se introduce în inelul de ridicare al matriţei. Prin acţionarea manuală a lanţului *2*, palanul *4* determină ridicarea matriţei.

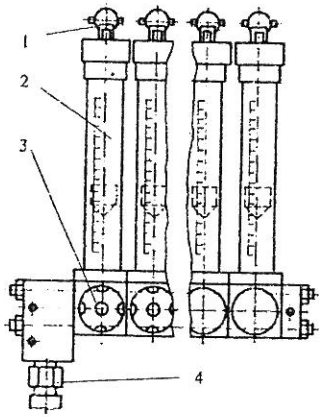


Fig.3.180. Distribuitorul apei de răcire:
1 - conductă de alimentare;
2 - rotametru; 3 - rozetă de reglare a debitului;
4 - conductă de alimentare a distribuitorului.

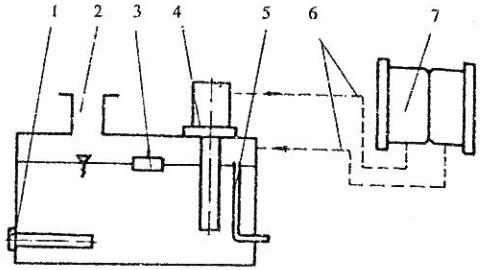


Fig.3.181. Instalație de temperare cu circuit închis:
1 - încălzitor; 2 - gură de alimentare; 3 - regulator de nivel; 4 - pompă; 5 - preaplin;
6 - conducte; 7 - matriță.

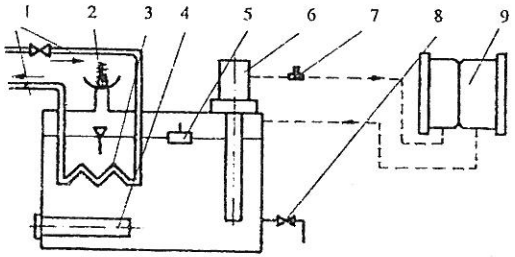


Fig.3.182. Aparat de temperare cu circuit închis de răcire intermitentă:
1 - conducte pentru apa de răcire; 2 - supapă de siguranță; 3 - spirală de răcire; 4 - preîncălzitor;
5 - regulator de nivel; 6 - pompă; 7 - termoelement; 8 - robinet de golire; 9 - matriță.

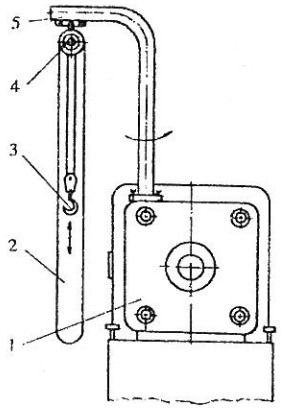


Fig.3.183. Sistem de montare a matriței:
1 - platoul fix al mașinii; 2 - lanț; 3 - cârlig; 4 - palan; 5 - braț superior.

Prin rotirea brațului suport *5*, matrița este adusă pe axul de lucru al mașinii de injectat. Prin manevrarea lanțului *2* matrița este adusă de către palanul *4* în poziția de montare.

Pentru montarea matrițelor de dimensiuni medii și mari se folosesc poduri rulante cu electropalane și cărucioare speciale (cap.7.4.2).

3.7.7. Benzi transportoare

După aruncarea pieselor injectate din matriță, acestea, împreună cu rețeaua de injectare, cad într-un spațiu liber aflat în mașina de injectat. Scoaterea pieselor și a rețelei

din această zonă se poate face folosind benzi transportoare construite special pentru acest scop (*fig.3.184*). Banda de transport *6*, confecționată din material flexibil, este antrenată în mișcare de rola motoare *1* și condusă pe rolele de sprijin *3*. Batiul *2* poate fi înclinat după dorință cu ajutorul sistemului telescopic *4*. Prin mișcarea benzii transportoare se asigură transportul pieselor și a rețelei de sub mașină în containerul *5*.

3.7.8. Separatoare de rețele

Separarea pieselor injectate de rețelele de injectare la capătul unei benzi transportoare se poate realiza folosind sistemul constructiv din *fig.3.185*. Deasupra benzii transportoare *1* se montează înclinat cilindrul *2* prevăzut pe suprafața exterioară cu o spirală melcată. Prin poziționarea cilindrului deasupra benzii și rotirea lui se realizează dirijarea pieselor injectate *6* în containerul *5* și a rețelelor *4* în containerul *3*.

3.7.9. Mori de măcinat

Lângă masinile de injectat pot fi montate mori de măcinat. În general se folosesc mori cu cuțite cu rotor orizontal. Aceste mori se folosesc pentru măcinarea rețelelor și pieselor injectate rebutate.

O moară cu cuțite cu rotor orizontal este prezentată schematic în *fig.3.186*. Materialul care se supune măcinării este introdus prin pâlnia de alimentare *1*, ajungând prin cădere liberă în zona rotorului *2* unde este prins între cuțitele 3 montate pe rotor și cuțitele fixe *4* montate pe statorul *5*. Mărimea ochiurilor sitei *6* determină dimensiunea maximă a particulelor rezultate la mărunțire. Prin amplasarea sub sita de sortare a unui ventilator de construcție specială, se realizează aspirația materialului mărunțit prin orificiul A precum și transportul acestuia în pâlnia de alimentare a mașinii de injectat.

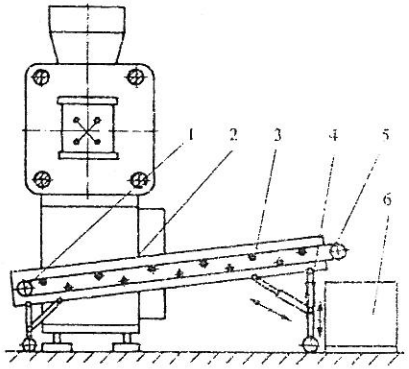


Fig.3.184. Bandă transportoare:
1 - rolă antrenoare; 2 - batiu, 3 - rolă de sprijin; 4 - sistem telescopic; 5 - container; 6 - bandă flexibilă.

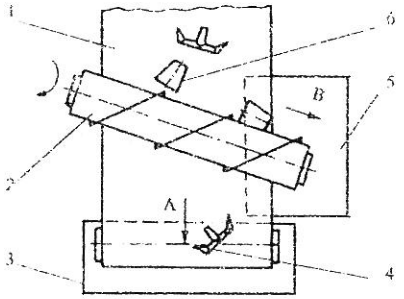


Fig.3.185. Separator de rețele:
1 - bandă de transport; 2 - cilindru separator; 3 - container; 4 - rețea; 5 - container; 6 - piesă injectată.

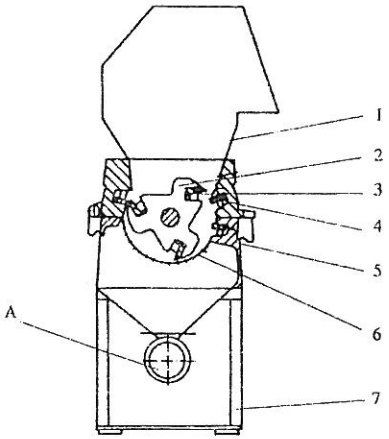


Fig.3.186. Moară cu cuţite:
1 - pâlnie de alimentare; 2 - rotor; 3 - cuţit mobil; 4 - cuţit fix; 5 - stator; 6 - sită; 7 - batiu; A - gură de aspiraţie.

3.7.10. Alte elemente auxiliare

Pe lângă elementele prezentate până acum există şi alte sisteme constructive care servesc tehnologia de injectare şi contribuie la automatizarea procesului (cap.7).

BIBLIOGRAFIE

1. *Mink, W.* Grundzüde der Spritzgiesstechnik. Zecher und Hüthig Verlag Gmbh, Speyer am Rhein, 1979..
2. *Renert, M.* Calculul şi construcţia utilajului chimic, vol II. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1971.
3. *Ionescu, Muscel, Ianculescu, M., Sereş, I., V., Vass, E., Rosenthal, I., Biro, A.* Proiectarea matriţelor pentru produse injectate din materiale plastice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1987.
4. *** Studiu privind utilaje pentru prelucrarea prin extrudere şi injecţie a materialelor termoplastice. Centrul de documentare şi publicaţii tehnice al Ministerului Industriei Uşoare, Bucureşti, 1970.
5. *Cincu, C., Manea, Gh.* Cartea operatorului din industria de prelucrare a materialelor plastice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1984.
6. *Manea, Gh.* Prelucrarea prin injecţie a materialelor plastice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1986.
7. *Mancoviciu, I.* Utilaje de prelucrare în industria compuşilor macromoleculari. Institutul Politehnic „Traian Vuia" - curs tipărit. Timişoara, 1974.
8. *** Spritzgiessen von Thermoplasten. Broşura firmei Hoechst, august, 1971.
9. *Mihail, R., Goldenberg, M.* Prelucrarea materialelor plastice. Editura Tehnică, 1963.

10. *Beck, H.* Spritzgiessen, Folge 5. Carl Hanser Verlag, München, 1963.
11. *Mink, W.* Grundzüde der Spritzgiesstechnik. Zecher und Hüthig Verlag Gmbh, Speyer am Rhein, 1971
12. *** Moulage par injection des polyamides Technyl. Broşura firmei Rhône-Poulenc, juin, 1963.
13. *Antal, D.* Müanyagfeldolgozó fröcsöntögépek. Müszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
14. *** Ultradur Sortimentsbeschreibung, Eigenschaften, Verarbeitung. Broşura firmei BASF, ianuarie, 1989.
15. *** Spritzgiessen, Bayer Thermoplaste. Broşura firmei Bayer, aprilie, 1978.
16. *** Blattfeder-Verschlussdüse für Spritzgiessenmaschinen. Kunststoffe, nr. 65, 1975.
17. *Bielfeldt, F., Herbst, R.* Wirtschaftliche Aspekte der Spritzgiesstechnik (III). Plastifizier-und Schliess-Systeme von Spritzgiessmaschinen aus der Sicht wirtschaftlicher Anwendung. Kunststoffe, nr. 9, 1973.
18. *Copetti, Th., Krebser, R.* Vollhydraulische und Kniehebel-Schliesssysteme Funktion und Eigenschaften. Kunststoffe, nr. 12, 1980.
19. *** Die neue MS-Baureihe von Maurer. Broşura firmei Maurer, septembrie, 1973.
20. *** Machines pour l'injection des thermoplastiques „Preplasmatic". Broşura firmei Triultzi, septembrie, 1970.
21. *** Hydraulische Spritzgiessmaschinen KUASY 630/160 electronic, KUASY 1460/250 electronic, KUASY 1800/400 electronic. Broşura firmei KUASY, septembrie, 1988.
22. *Tudose, Z., R.* Procese şi utilaje în industria de prelucrare a compuşilor macromoleculari. Editura Tehnică, Bucureşti, 1976.
23. *Trepte, H.* Das Betribsverhalten von Schliesseinheiten an Spritzgiessmaschinen. Plaste und Kautschuk, nr. 2, 1964.
24. *Meridies, R.* Die Öffnungskraft von Spritzgiessmaschinen mit Kniehebel-Schliesseinheit. Plastverarbeiter, nr. 5, 1973.
25. *Meridies, R.* Ergebnisse von Messungen an Spritzgiessmaschinen mit Kniehebel-Schliesseinheit. Plastverarbeiter, nr. 6, 1974.
26. *Rao, S., N.* Formeln der Kunststofftechnik. Carl Hanser Verlag, München Wien, 1989.
27. *Sontag, R.* Leistungsbestimmung von Spritzgiessmaschinen. Kunsstoff und Gümmi, März und April, 1965.
28. *Rothe, J.* Maschinentechnische Verbeserungen beim Spritzgiessen. Kunststoffe, nr. 10, 1988.
29. *Tabără, V., Catrina, D., Ganea, V.* Calculul, proiectarea şi reglarea preselor. Editura Tehnică, Bucureşti, 1976.
30. *Rothe, J.* Spritzgiessen-Maschinen und Verfahrrenstechnische Entwiclkungen. Kunststoffe, nr. 1, 1990.
31. *Rothenpieler, A.* Technische Daten und Abnahmebedingungen für Spritzgiessmaschinen. Kunststoffe, nr. 1, 1972.
32. *Diebel, H.* Produktionssteigerung beim Spritzgiessen durch Verringern der Maschinen Stillstandzeiten. Kunststoffe, nr. 3, 1980.
33. *** MPS - Technology of automation. Broşura firmei Engel.
34. *Jinescu, V., V.* Teoria calitativă a procesului de extrudere a materialelor termoplastice. Materiale Plastice, nr. 5, 1972.
35. *Nuca, Gh., Marcu, R.* Tipuri constructive de melci utilizaţi la maşinile de prelucrare prin extrudere a materialelor termoplastice. Materiale Plastice, nr. 11, 1970.
36. *Jinescu, V., V.* Relaţii pentru timpul de reţinere în procesele de extrudare şi

injectare a materialelor termoplastice. Materiale Plastice, nr. 1 1969.
37. *Jinescu, V., V.* Ecuaţia pentru corelarea vitezei medii a materialului cu viteza periferică a melcului, la extrudere. Materiale Plastice, nr. 4, 1973.
38. *Jinescu, V., V., Renert M.* Unele aspecte ale hidrodinamicii extruderii termoplastelor pe maşini cu un melc. Materiale Plastice, nr. 6, 1970.
39. *Jinescu, V., V., Renert M.* Elemente de termodinamică la extruderea materialelor termoplastice şi a cauciucului. Materiale Plastice, nr. 4, 1970.
40. *Jinescu, V., V.* Debitul maşinii de extrudere cu un melc. Partea I şi II. Materiale Plastice, nr. 1 şi nr. 3, 1990.
41. *Potente, H., Schullte, H., Hansen, M.* Verfahren zur Dosierzeitberechnung ab Plastifiziereinheiten. Plastverarbeiter, nr. 12, 1989.
42. *Potente, H., Schulte, H.* Masetemperaturent wiklung in konventionellen Einschnecken und Spritzgiessplastifiziersystemen. Kunststoffe, nr. 9, 1990.
43. *Basov. I., H., Volodin. N., I., Kazanov, V., I.* Zur zyklischen Arbeitweisen von Schneckenplastiziereinheiten in Spritzgiessmaschinen. Plaste und Kautschuk, nr. 3, 1985.
44. *Bürkle, E.* Qualitätssteigerung beim Spritzgiessen als Aufgabe des Plastifiziersystems. Kunststoffe, nr. 4, 1988.
45. *Kleine-Albers, A., Goller, H., Sonntag, R.* Herstelung von Kunststoff-Formteilen in Fliessgussverfahren. Teil II. Technologische Erprobung der Fliessgussmaschine. Kunststoffe, nr. 3, 1962.
46. *Flieger, H., D., Glodman, K.* Anfordungen an Spritzgiessmaschinen zum homogenen Aufschmelzein teikristalliner Thermoplaste. Kunststoffe, nr. 4, 1975.
47. *Mennig, G., Reinhardm M.* Verschleissfeste Spritzgiesszylinder, Tribologische Aspekte zu Keramik-Anwendengen. Kunststoffe, nr. 8, 1990.
48. *Harreis, J.* Plastiziervorgang und Plastizierleistung grosser Spritzgiessmaschinen. Kunststoffe, nr. 7, 1970.
49. *Johannaberr, F.* Dosierweg bei Spritzgiessmaschinen. Kunststoffe, nr. 1. 1989.
50. *Renger, M.* Verfahrenstechische und energetische Gesichtpunkte zur Auswahl von Spritzgiessmaschinen. Kunststoffe, nr. 11, 1989.
51. *Rothe, J.* Spritzgiessen-Maschinen und Verfahrenstechnische Entwicklungen. Kunststoffe, nr. 2, 1980.
52. *Jinescu, V., V.* Proprietăţile fizice şi termomecanice ale materialelor termoplastice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1989.
53. *Jinescu, V., V.* Debitul maşinii de extrudere cu un melc. Materiale Plastice, nr. 1 şi nr. 3, 1990.
54. *Nucă, G., Marcu, R.* Tipuri constructive de melci utilizaţi la maşinile de prelucrare prin extrudere a materialelor plastice. Materiale Plastice, nr. 11, 1970.
55. *** Der Extruder-Grundlage für Qualität und Wirschaflichkeit. Plastverarbeiter, nr. 7, 1989.
56. *Hausman, J.* Einschneckextruder-immer noch aktuel. Plastverarbeiter, nr. 2, 1979.
57. *Bauer, W.* Zur Geometrie von Extruder Schnecken. Kunststoffe, nr. 12, 1968.
58. *Fingerle, D.* Radiale Temperaturgradienten von der Snecknespitze von Extrudern und ihre Beeinflussung durch Mischteile. Kunststoffe, nr. 7, 1973.
59. *Menges, G., Klenk, P.* Aufschmelz und Plastiziervorgänge bein Verarbeiten von PVC hart-Pulver auf einem Eischecken Extruder. Kunststoffe, nr. 9, 1967.
60. *** Spritzgiesstechnik 1990. Broşura firmei Battenfeld.
61. *Richardsen, R.* Trocknen und Entgasen von Kunststoffen beim Verarbeiten auf Spritzgiessmaschinen. Kunststoffe, nr. 11, 1970.
62. *Jinescu, V., V.* Măsurarea temperaturii la maşini pentru prelucrarea materialelor termoplastice, a cauciucului şi a amestecurilor din cauciuc. Materiale Plastice, nr. 4, 1971.
63. *Bodea, M., Mihuţ, I., Turic, I., Tiponuţ, V.* Aparate electronice pentru măsurare şi control. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1985.
64. *Asavinei, I., Niculescu, C.* Ghid pentru utilizarea termocuplurilor în măsurări industriale. Editura Tehnică, 1981.
65. *Oprean, A., Marin, V., Moraru, V.* Sistemele hidrostatice ale maşinilor unelte şi pieselor. Editura Tehnică, Bucureşti, 1965.
66. *Ionescu, F., Catrina, D., Dorin, A.* Mecanica fluidelor şi acţionări hidraulice şi pneumatice. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1981.
67. *Marin, V., Moscovici, R., Tenesclav, D.* Sisteme hidraulice de acţionare şi reglare automată. Probleme practice: proiectare, execuţie, exploatare. Editura Tehnică, Bucureşti, 1981.
68. *Mazilu, I., Marin, V.* Sisteme hidraulice automate. Editura Academiei R.S.R., Bucureşti, 1982.
69. *Oprean, A., Ionescu, Fl., Dorin, A.* Acţionări hidraulice. Elemente şi sisteme. Editura Tehnică, Bucureşti, 1982.
70. *Pop, I.* Noi elemente şi sisteme hidraulice. Hidrologistori. Editura Academiei Române, Bucureşti, 1990.
71. *Lewis, E., E., Stern, H.* Sisteme automate hidraulice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1968.
72. *Coppetti, T.* Wege zur Material-und Energiesinsparung mit demziel der produktionskosten-Minimalisierung. Plastverarbeiter, nr. 11, 1980.
73. *Rusu, M., Ivan, Ghe., Goldenberg-Şerban, N., Staicu, D.* Valorificarea resurselor polimerice secundare. Editura Tehnică, Bucureşti, 1989.
74. *** Belmatik. Broşura firmei Belisce, 1986.
75. *Niţu, N., Stana, I.* Îndrumătorul electricianului de întreţinere din întreprinderile industriale. Editura Tehnică, Bucureşti, 1984.
76. *Toacse, Ghe.* Introducere în microprocesoare. Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1985.
77. *Babuţia, I., Petrescu, M.* Automatizări electronice în construcţia de maşini. Editura Facla, Timişoara, 1983.
78. *Simion, E., Miron, C., Feştilă, L.* Montaje electronice cu circuite integrate analogice. Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1986.
79. *Bartnovski, G., A.* Circuite imprimate în construcţiile radioamatorilor. Editura Tehnică, Bucureşti, 1974.
80. *Antal, D.* Müanyagfeldolgozó Gépek. Müszaki Könynvkiadó, Budapest, 1983.
81. *Buzdugan, Ghe.* Rezistenţa materialelor. Editura Tehnică, Bucureşti, 1970.
82. *Renert, M.* Calculul şi construcţia utilajului chimic. Editura Didactică şi Pedagogică, vol. I, Bucureşti, 1971.
83. *Jinescu, V., V.* Calculul şi construcţia utilajului chimic, petrochimic şi de rafinării. Editura Didactică şi Pedagogică, vol. I, Bucureşti, 1983.
84. *Chişiu, A., Matleşan, D., Madărăsan, T., Pop, D.* Organe de maşini. Editura Didactică şi Pedagogică, vol. I, Bucureşti, 1976.
85. *Manea, Ghe.* Organe de maşini, vol. I. Editura Tehnică, Bucureşti, 1970.

4. Metode speciale de injectare

În afară de injectarea tradițională a materialelor termoplastice există procedee prin care se obțin piese injectate cu calități deosebite (estetice, de rezistență mecanică, etc.). În aceste cazuri este necesar un echipament tehnologic (mașină de injectat și matriță) deosebit. Dintre metodele de injectare specială se amintesc:

- injectarea multicomponentă;
- injectarea cu presiune interioară de gaz;
- injectarea sandwich;
- injectarea contracadentă;
- injectarea materialelor expandabile;
- injectarea materialelor armate.

4.1. Injectarea multicomponentă

Injectarea multicomponentă are aplicații din ce în ce mai diverse: industria de automobile, industria calculatoarelor, fabricația jucăriilor și a produselor de uz casnic, etc.

4.1.1. Principiul procedeului

Realizarea unei piese injectate din două materiale colorate diferit sau din două materiale diferite a fost posibilă prin realizarea piesei în două mașini prin două operații separate sau injectarea într-o mașină în două operații separate (*fig.4.1*). Prin acest procedeu se formează în matriță componentul *x* al piesei injectate, după care semifabricatul se introduce în matrița a doua și se injectează peste el componentul *y*. Se pot realiza astfel piese injectate multicomponente: plane, cilindrice, cu inscripții pe suprafață, efecte decorative, etc.

Necesitățile de creștere a productivității muncii, precum și realizările din domeniul mașinilor de injectat, a matrițelor și aparatelor de manipulare, a permis ca piesele injectate multicomponente să fie realizate în aceeași mașină de injectat. Astfel operațiile de manipulare a semifabricatelor se realizează în cadrul mașinii de injectat. Tuturor variantelor de soluții le este comun lucrul cu cavități de matriță diferite pentru piesa injectată preliminară și pentru piesa finală.

Fabricarea pieselor injectate multicomponente poate să se realizeze prin:

- injectarea aceluiași material de diferite culori (bicoloră, multicoloră, mixaj);
- injectarea materialelor diferit compatibile sau incompatibile.

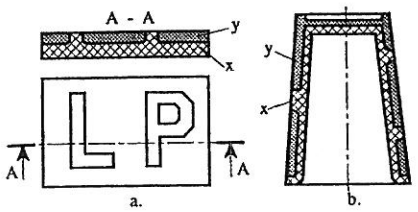


Fig.4.1. Piesă injectată bicomponentă:
a - piesă plană; b - piesă cilindrică;
x - componentă de bază;
y - componentă de completare.

4.1.2. Injectarea bicomponentă

Pentru realizarea acestui tip de injectare s-au creat mașini de injectat speciale cu doi cilindri de injectare și sistem de transport integrat al mașinii de injectat. O injectare bicomponentă clasică este deja injectarea bicoloră. În *fig.4.2* este prezentată injectarea bicoloră într-o mașină de injectat cu doi cilindri de injectare orizontali și transport integrat prin masă rotativă. În prima fază a ciclului, cilindrul *1* injectează piesa preliminară în matrița *A - A'*, iar cilindrul *2* completează piesa finală în matrița *B - B'* (*fig.4.2.a*). Matrița se deschide și piesa injectată finală este eliminată din matrița *B-B'* (*fig.4.2.b*). Sistemul rotațional *4* de pe platoul mobil al mașinii *5* se rotește cu 180° și indexează poansoanele *B'* și *A'* în dreptul cavităților *A* și *B*. Matrița se închide, cilindrul *1* injectează material în matrița *A - B'* și realizează o nouă piesă preliminară, iar cilindrul *2* injectează material completând piesa finită în matrița *B - A'* (*fig.4.2.d*).

În *fig.4.3* este prezentată o injectare bicoloră în care cilindrii de injectare sunt plasați în unghi de 90° (un cilindru vertical și altul orizontal). În prima fază a ciclului, cilindrul *1* injectează în completare piesa finală în cuibul *B*, iar cilindrul *3* injectează piesa preliminară în cuibul *A* (*fig.4.3.a*). În matriță există două sisteme de injectare diferite pentru cei doi cilindri. Matrița se deschide (*fig.4.3.b*). Sistemul de transport *5* împreună cu aruncătorul *6* execută o mișcare de translație aruncând piesa finită împreună cu rețeaua (*fig.4.3.c*). Sistemul de transport execută o mișcare de rotație cu 180° astfel încât piesa preliminară este indexată în dreptul cavității *B*, iar rețeaua proprie este eliminată (*fig.4.3.d*). Matrița se închide și ciclul se reia. Separarea rețelelor de piesă precum și obturarea canalelor de curgere se realizează din construcția matriței.

Folosirea sistemelor de injectare cu canale încalzite elimină toate neajunsurile legate de sistemul de rețele de injectare.

Sistemul de transport rotațional poate să aparțină atât mașinii de injectat, cât și matriței. În cadrul matriței transportul rotațional se realizează cu ajutorul unui cilindru hidraulic ce acționează o cremalieră care, prin intermediul unei roți dințate, determină mișcarea sistemului de transport.

În cazul injectării bicolore se oferă și o altă soluție constructivă pentru transportul piesei injectate în cadrul matriței [1]. În acest caz cilindrii de injectare sunt așezați orizontal în paralel sau orizontal unul peste celălalt. Există un manipulator care preia simultan produsul preliminar și produsul finit. Produsul preliminar este așezat în postul de injectare finală, iar produsul finit este scos din matriță și stivuit.

Un sistem de injectare bicomponent este sistemul de injectare în mixaj (*fig.4.4*). În acest caz cilindrii de injectare sunt orizontali și paraleli. Sistemul de injectare este

astfel conceput încât materialul plastic ajunge la cuib de la ambii cilindrii de injectare. Injectarea se face simultan de către ambii cilindri. În fiecare cilindru se găsește același material, dar de culori diferite. În piesa injectată se obțin efecte coloristice marmorate. La acest sistem de injectare dispozitivul rotațional de transport se blochează.

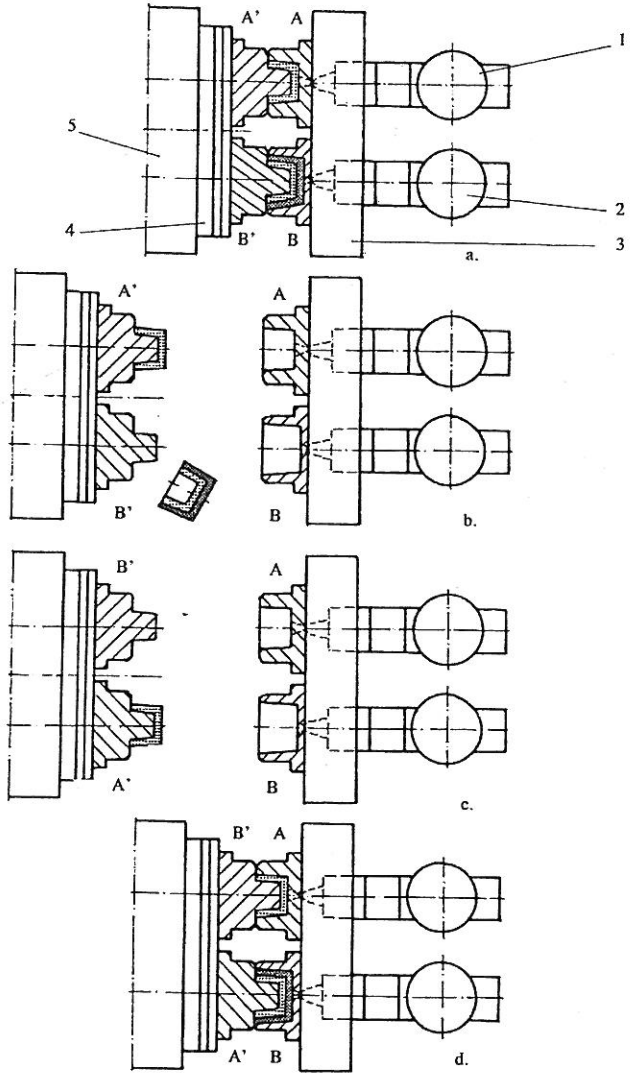


Fig.4.2. Injectarea bicoloră cu cilindri orizontali:
1 - cilindru de injectare; 2 - cilindru de injectare; 3 - platou fix; 4 - sistem de rotație; 5 - platou mobil; a, b, c, d - faze ale ciclului de injectare; A, A', B, B' - semimatrițe.

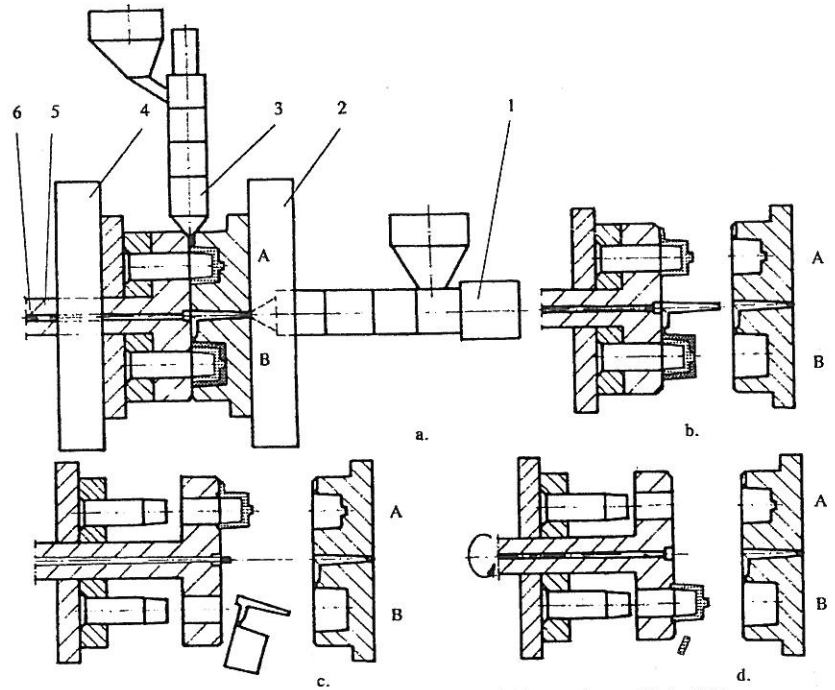


Fig.4.3. Injectarea bicoloră cu cilindrii de injectare în unghi de 90°:
1 - cilindru de injectare orizontal; 2 - platou fix; 3 - cilindru de injectare vertical; 4 - platou mobil; 5 - sistem de transport rotațional; 6 - aruncător central; A, B - cavitatea matriței.

4.1.3. Injectarea tricomponentă

Există posibilitatea, prin acest sistem de a se injecta 3 materiale termoplastice diferite. O injectare tricomponentă este injectarea tricoloră (*fig.4.5*). În acest caz doi cilindri de injectare pot fi așezați orizontal și paralel, iar al treilea cilindru de injectare se așează vertical pe axa de simetrie a matriței. În cazul injectării în trei culori transportul semifabricatului injectat se poate face continuu, unghiul de rotație al sistemului de transport fiind de 120°.

4.1.4. Injectarea multicomponentă cu materiale parțial compatibile și incompatibile

La injectarea bicoloră și tricoloră s-au utilizat materiale identice de diferite culori.

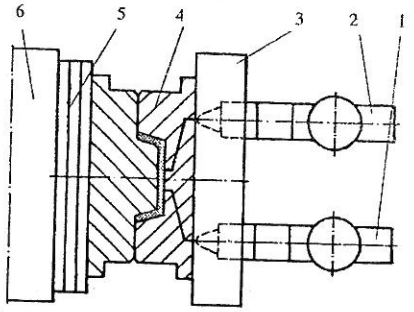


Fig.4.4. Injectarea bicomponentă în mixaj: 1, 2 - cilindru de injectare; 3 - platou fix; 4 - matriţa; 5 - sistem de transport rotaţional; 6 - platou mobil.

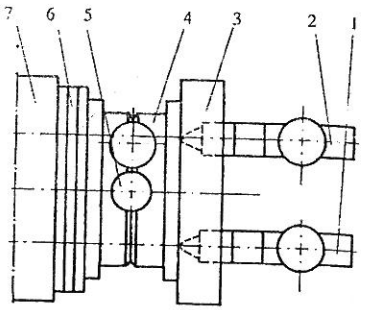


Fig.4.5. Injectarea tricoloră: 1, 2 - cilindru de injectare; 3 - platou fix; 4 - matriţa; 5 - cilindru de injectare; 6 - sistem de transport rotaţional; 7 - platou mobil.

Utilizarea materialelor cu caracteristici diferite deschide posibilităţi tehnologice noi.

Asocierile de materiale dure şi moi a dus la realizarea unor produse noi (inel de etanşare din poliamidă armată cu fibră de sticlă şi buză din poliuretan).

Asocierea de materiale incompatibile poate duce la asamblări de tip lagăr de alunecare, articulaţii sferice, etc. Există posibilitatea realizării într-o maşină de injectat a unui ansamblu injectat format din mai multe piese componente.

La maşinile de injectat folosite la injectări multicomponente este necesar ca o mulţime de parametri ca: temperatura, presiunea de injectare, viteza de injectare să fie independent reglabili pentru fiecare unitate de injectare în parte. Perfecţionarea acţionării hidrostatice a sistemelor de automatizare nu mai ridică probleme în realizarea, comanda şi reglarea acestor maşini. Realizări deosebite în acest domeniu au obţinut firmele Engel (Austria), Battenfeld (Germania).

4.2. Injectare cu presiune interioară de gaz

Acest procedeu de injectare, apărut experimental în 1971, a fost dezvoltat în Anglia sub denumirea de procedeul Cinpres (air mould).

4.2.1. Principiul procedeului

Procedeul *air mould* constă din injectarea, o dată cu materialul plastic topit, a unui gaz inert (azot) în cavitatea matriţei. Gazul sub presiune îşi deschide drum în miezul topit cu vâscozitate minimă şi comprimă topitura spre peretele răcit al matriţei. Spaţiile cave se crează acolo unde grosimile de perete ale piesei injectate sunt maxime [9].

Introducerea gazului în matriţă se poate realiza prin intermediul unei duze speciale cu închidere cu ac, acţionată hidraulic, sau direct în matriţă printr-o supapă specială cu

închidere. Există două variante de injectare [8, 9, 10].

În prima variantă, materialul plastic se injectează în matriţă înaintea gazului (*fig.4.6*). În prima fază materialul plastic topit se injectează în matriţă (*fig.4.6.a*). Duza specială *2* acţionată hidraulic închide calea materialului plastic şi deschide calea gazului care, din cilindrul sub presiune *3*, pătrunde prin duză, croindu-şi drum prin zona de rezistenţă minimă a miezurilor calde (*fig.4.6.b*). După injectarea gazului se menţine presiunea un timp, înlocuindu-se astfel presiunea ulterioară din injectarea clasică. Are loc apoi retragerea gazului sub presiune în cilindrul *3*, prin intermediul duzei, având loc astfel descărcarea de presiune (*fig.4.6.c*). În ultima fază se injectează material plastic pentru completarea culeei în vederea sigilării piesei (*fig.4.6.d*).

A doua variantă de injectare presupune injectarea simultană a materialului plastic şi a gazului (*fig.4.7*). Prin intermediul duzei speciale se injectează în matriţă simultan atât materialul plastic cât şi gazul (*fig.4.7.a*). Se menţine apoi un timp presiunea gazului, înlocuindu-se astfel presiunea ulterioară de la injectarea clasică (*fig.4.7.b*). În faza ulterioară se retrage gazul din cavitatea matriţei prin intermediul cilindrului *3*, având loc

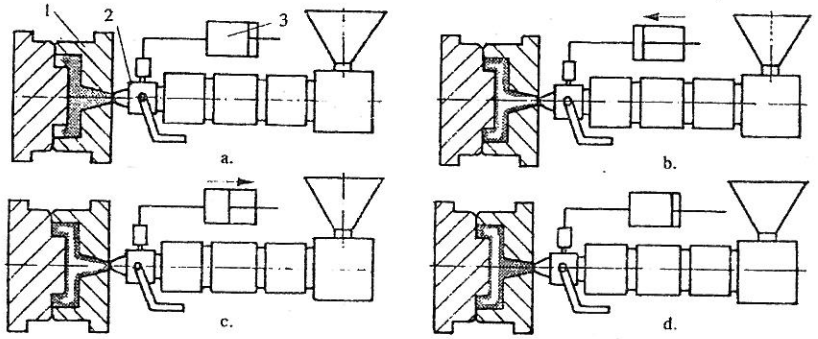


Fig.4.6. Injectarea cu presiune interioară de gaz (injectarea succesivă material-gaz): 1 - matriţă; 2 - duză cu închidere; 3 - cilindru de presiune cu gaz; a - injectare material plastic; b - injectare gaz; c - retragere gaz; d - injectare material plastic.

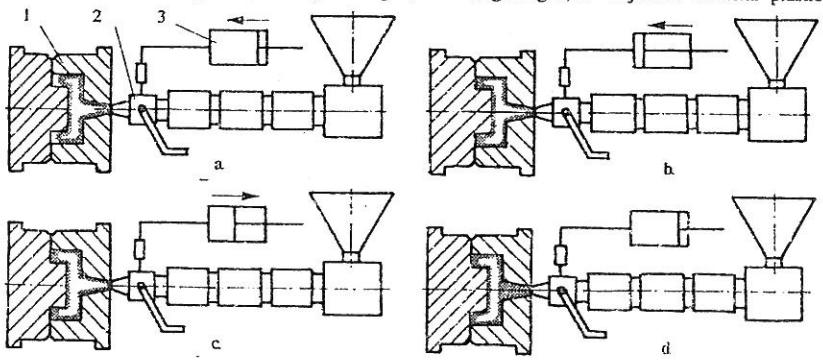


Fig.4.7. Injectarea cu presiune interioară de gaz (injectarea simultană material-gaz): 1 - matriţă; 2 - duză cu închidere; 3 - cilindru de presiune cu gaz; a - injectare material plastic - gaz; b - menţinere presiune gaz; c - retragere gaz; d - injectare material plastic.

astfel descărcarea de presiune (*fig.4.7.c*). În ultima fază se injectează material plastic în culee în vederea sigilării piesei (*fig.4.7.d*).

La ambele procedee se realizează un grad de recuperare a gazului de până la 90%.

4.2.2. Procedee de introducere a gazului sub presiune

Există două procedee de introducere a gazului sub presiune [8]:

- generarea discontinuă a presiunii;
- generarea continuă a presiunii.

Procedeul de generare discontinuă a presiunii este prezentat în *fig.4.8.* Acest sistem folosește cilindrul dublu *4.* În prima fază este umplut cilindrul mic al ansamblului *4*, cu azot la presiunea prescrisă, de la butelia de azot *3*, prin intermediul supapei de presiune *2* și a supapei de sens *1.* Gura de evacuare a cilindrului este apoi închisă și cilindrul hidraulic al ansamblului *4* comprimă gazul până la presiunea cerută de injectarea cu gaz. Supapa cu ac *7* se deschide fiind acționată de presiunea din cilindrul hidraulic *6* și gazul este injectat în topitură. Procesul are avantajul că un volum sigur de gaze poate fi măsurat, comprimat și injectat. Variația presiunii gazului poate fi urmărită în graficul din *fig.4.9.* După atingerea presiunii prescrise la injectarea gazului, presiunea scade treptat.

Procedeul de generare continuă a presiunii este prezentat în *fig.4.10.* Volumul cavității matriței are o valoare constantă și de asemenea volumul de material injectat. Datorită acestui fapt și volumul de gaz trebuie să aibă o valoare prescrisă. Se poate menține o presiune constantă fără dificultate cu ajutorul compresorului *5.* Contrar procesului de generare discontinuă a presiunii, în acest caz, după deschiderea supapei *10*, există presiune disponibilă și presiunea crește în foarte scurt timp. Variația presiunii în acest caz este prezentată în *fig.4.11.* Acest sistem are avantajul de a umple cavitatea matriței la început cu o presiune mai mică, după injectarea topiturii presiunea ridicându-se la nivelul cerut. În acest fel se poate obține o suprafață a piesei injectate de calitate bună și cu deformări minime.

4.2.3. Noțiuni tehnologice

Deoarece culeea, în cadrul procedeului de injectare cu gaz servește atât pentru introducerea topiturii cât și a gazului, ea este cavă. La separarea culeei va rezulta o gaură în piesă. Din acest motiv se recomandă:

- culeea să nu se plaseze în locuri vizibile și solicitate mecanic;
- secțiunea culeei să fie cât mai mare;
- forma culeei să fie conică sau tip bară.

Nervurile la o piesă injectată realizată prin acest procedeu vor avea o geometrie uniformă (grosime, lungime, înălțime) pentru a nu apărea cavități neuniforme care ar putea duce la deformări ale piesei injectate (*fig.4.12*).

Liniile de sudură rezultate din confluența curenților de material pot fi evitate prin amplasarea corespunzătoare a duzei și prin raze mari de deviere ale curenților de material și gaz.

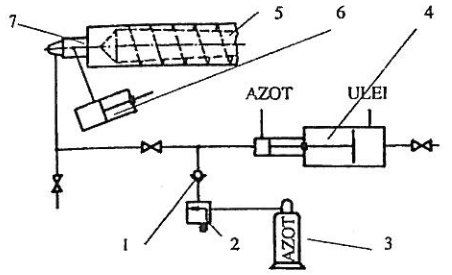


Fig.4.8. Generarea discontinuă a presiunii la sistemul de injectare cu presiune interioară de gaz:
1 - supapă de sens; 2 - supapă de presiune; 3 - butelie de azot; 4 - cilindru hidraulic; 5 - cilindru de injectare; 6 - cilindru de acționare a supapei; 7 - supapă.

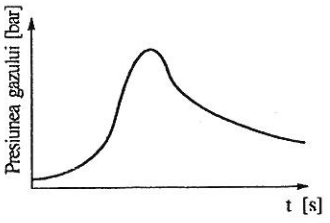


Fig.4.9. Variația presiunii gazului prin procedeul de generare discontinuă a presiunii.

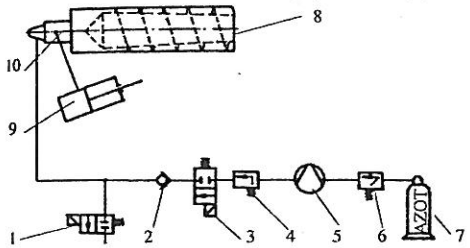


Fig.4.10. Generarea continuă a presiunii la sistemul de injectare cu presiune interioară de gaz:
1 - supapă electropneumatică; 2 - supapă de sens; 3 - supapă electropneumatică; 4 - supapă de presiune; 5 - compresor; 6 - supapă de presiune; 7 - butelie de azot; 8 - cilindru de injectare; 9 - cilindru hidraulic de acționare a supapei; 10 - supapă.

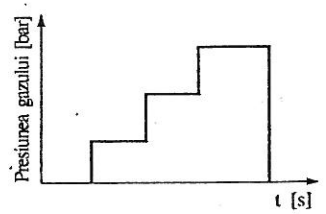


Fig.4.11. Variația presiunii gazului prin procedeul de generare continuă a presiunii.

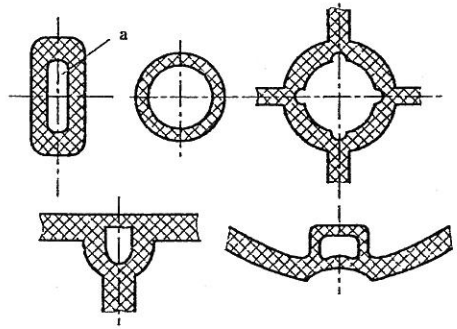


Fig.4.12. Piese injectate prin procedeul *air mould*:
a - spațiu cav.

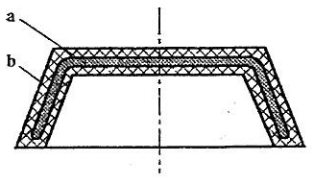


Fig.4.13. Piesă obținută prin injectare *sandwich*:
a - miez; b - straturi exterioare.

Procedeul de injectare cu gaz se poate aplica următoarelor materiale termoplastice: PE, PS, PA, PMMA, ABS, PP, POM, PBT.

Materialele termoplastice pot fi folosite în variantă modificată și armată, putând fi prelucrate la diferite vâscozități.

4.2.4. Avantajele procedeului

Procedeul prezintă mai multe avantaje:

- reducerea duratei ciclului datorită transferului bun de căldură prin perna de gaz şi a presiunii exercitate de aceasta, care determină un bun contact între pereţii piesei injectate şi peretele răcit al matriţei;
- reducerea forţei de închidere a maşinii ca urmare a presiunii de menţinere a gazului care are valori scăzute de până la 200 bari;
- reducerea greutăţii piesei injectate o dată cu creşterea rigidităţii;
- reducerea tensiunilor interne şi a deformaţiilor piesei injectate;
- reducerea ciclului de injectare;
- costuri reduse la fabricarea matriţelor.

4.3. Injectarea sandwich

Căutarea unor procedee de realizare a unor piese injectate multicomponente mai ieftine şi cu calităţi îmbunătăţite, a dus la apariţia injectării sandwich.

4.3.1. Principiul procedeului

Prin acest procedeu, două sau mai multe materiale sunt injectate din unităţi de injectare separate prin acelaşi canal de injectare în matriţă. Piesa injectată rezultată are aspect stratificat, cu un miez şi un strat exterior acoperitor (*fig.4.13*). Un avantaj particular al acesui procedeu constă în folosirea materialelor cu rezistenţă înaltă şi suprafaţă de calitate la exterior şi a produselor regenerate, armate, expandate în miezul piesei.

Pentru a garanta o calitate superioară a piesei injectate, trebuiesc îndeplinite următoarele condiţii:

- valori de contracţie similare la materialele care compun piesa;
- o bună adeziune a materialelor.

În *tab.4.1* sunt prezentate diferite materiale termoplastice din punct de vedere al comportării lor la adeziune [16]. Prin acest sistem de injectare se obţin piese complexe cu suprafeţe mari şi rezistenţă mare pentru industria de automobilelor (aripi de caroserie, faruri, etc.), industria electrotehnică (carcase de televizoare, carcase de monitoare, carcase aparate de copiat, etc.), industria bunurilor de larg consum (mobilă, articole sportive, etc.).

Acest sistem are mai multe variante constructive: injectarea ICI, injectarea prin duză cu două canale, injectarea prin duză cu trei canale.

4.3.2. Injectarea ICI

Acest procedeu, numit *injectarea ICI*, a fost descoperit în anul 1970 de firma engleză Imperial Chemical Industries Ltd. Prin acest procedeu două materiale sunt

Tabelul 4.1. Compatibilitatea materialelor plastice la injectarea sandwich.

	ABS	CA	PA 6	PA 66	PC	PEID	PEJD	PMMA	POM	PP	PPO	PS-FS	PS	PBT	PVC M	SAN	PET	PC-PBT	PC-ABS
ABS	X	X			X	Δ	Δ	X		Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	X	X
CA	X	X				Δ	Δ			Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X			
PA 6			X	X		*	*			*		Δ	Δ						
PA 66			X	X	*	*	*			*		Δ	Δ						
PC	X			*	X	Δ	Δ			Δ		Δ	Δ	X	X	X	X	X	X
PEID	Δ	Δ	*	*	Δ	X	X	*	*	Δ		Δ	Δ	Δ	*	Δ		Δ	Δ
PEJD	Δ	Δ	*	*	Δ	X	X	*	*	X		Δ	Δ	Δ		Δ		Δ	Δ
PMMA	X					*	*	X		*		Δ	Δ		X	X			
POM						*	*		X	*		Δ	Δ						
PP	Δ	Δ	*	*	Δ	Δ	X	*	*	X	*	Δ	Δ	Δ	*	Δ		Δ	Δ
PPO	Δ	Δ								*	X	X	X	Δ	Δ	Δ		Δ	Δ
PS-FS	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	Δ	*	Δ		Δ	Δ
PS	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	Δ	*	Δ		Δ	Δ
PBT	X	X			X	Δ	Δ			Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X			
PVC M	X	X			X	*		X		*	Δ	*	*	X	X	X			X
SAN	X	X			X	Δ	Δ	X		Δ	Δ	Δ	Δ	X	X	X	X	X	X
PET	X				X											X	X	X	X
PC-PBT	X				X											X	X	X	
PC-ABS	X				X										X	X	X		X

LEGENDĂ: X - *îmbinare bună*; * - *îmbinare slabă*; Δ - *nu se poate îmbina*; *FS - fibră de sticlă.*

injectate, din unităţi de plastifiere separate, unul după celălat, prin acelaşi canal de injectare, în matriţă. Principiul de injectare este prezentat în *fig.4.14*, în care se află matriţa închisă cu cele două unităţi de plastifiere, cu materialul dozat şi duza în poziţie închisă [12]. Duza distribuitoare eliberează calea pentru materialul plastic *A* care este injectat în matriţă într-o anumită şarjă (*fig.4.14.b*). Duza distribuitoare este deschisă pentru materialul plastic *B* din a doua unitate de injectare (*fig.4.14.c*). Materialul plastic *B* pătrunde în matriţă şi presează materialul plastic *A* către pereţii matriţei fără a-l străpunge (*fig.4.14.d*). Atâta timp cât sunt menţinute sub control temperatura matriţei, debitul materialului injectat, viteza de injectare, materialul *B* presează materialul *A* spre pereţii matriţei, unde materialul *A* formează o coajă uniformă în jurul materialului *B*. Matriţa se găseşte sub presiunea de umplere în *fig.4.14.e*. Duza matriţei se deschide pentru materialul *A* şi se injectează suplimentar material (presiune ulterioară), astfel încât să se preseze materialul *B* aflat în reţeaua de injectare, încât *B* să nu aibă legătură cu exteriorul la separarea reţelei, lucru care ar duce la o calitate necorespunzătoare a suprafeţei piesei (*fig.4.14.f*). Duza se închide. Dacă se foloseşte ca material de interior un material care expandează, matriţa se deschide puţin (aproximativ 10 mm) şi astfel materialul *B* are posibilitatea să expandeze, realizând un interior cu structură de spumă (*fig.4.14.g*).

4.3.3. Injectarea prin duză cu două canale

Este un procedeu de injectare prin care două materiale termoplastice diferite, din

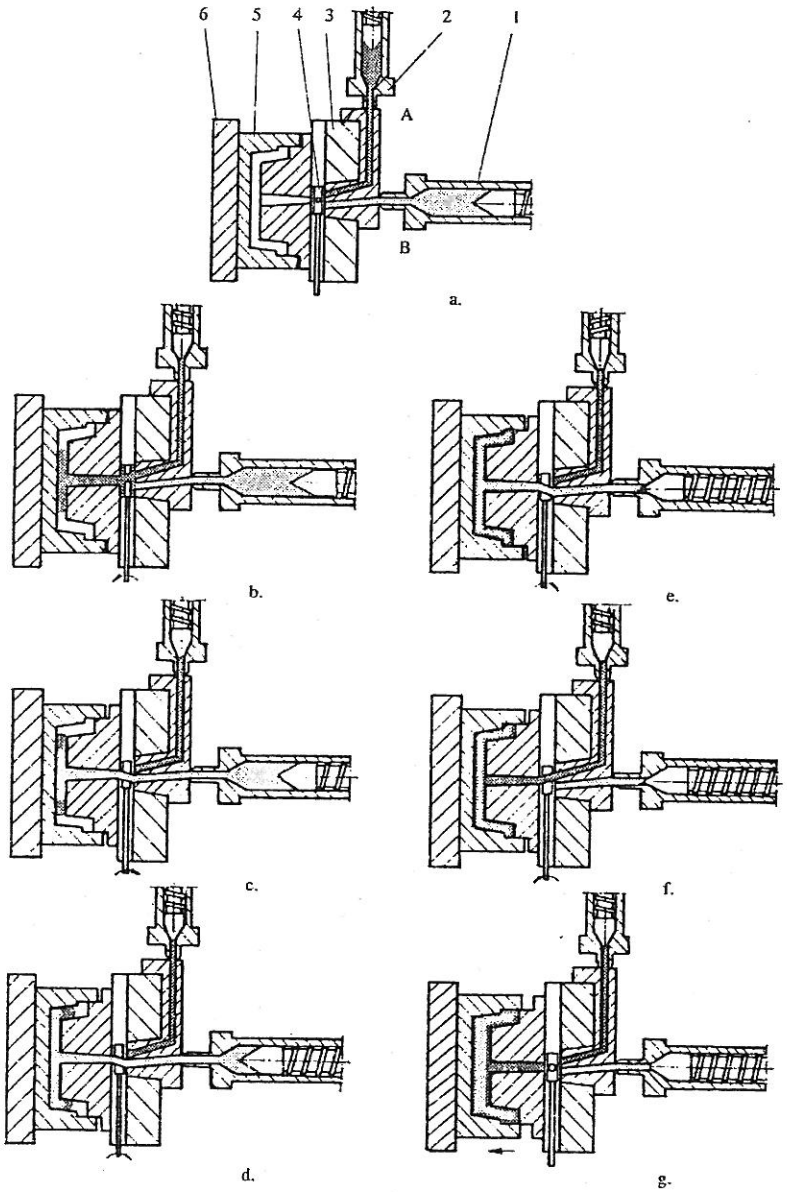


Fig.4.14. Injectare sandwich ICI:
1 - cilindrul de injectare pentru materialul B; 2 - cilindrul de injectare pentru materialul A; 3 - platou fix; 4 - supapă; 5 - matriță; 6 - platou mobil; a...g - faze ale procesului.

două unități de plastifiere, sunt injectate în matriță prin intermediul unei duze speciale cu două canale, realizând astfel o piesă sandwich.

Principial, procedeul poate fi urmărit în *fig.4.15*. În prima fază, materialul plastic *A* este injectat în matriță prin duza *2*, materialul plastic *B* având calea obturată (*fig.4.15.a*). În faza a doua, în duza *2* se deschide calea pentru materialul plastic *B* și ambele materiale se injectează împreună. Materialul plastic *B* curge prin miezul din material plastifiat al componentei *A*. În ultima fază, duza este deschisă pentru materialul plastic *B* și închisă pentru materialul plastic *A*. Se realizează compactizarea materialului prin presarea pe pereții matriței a materialului *A* de către materialul *B*.

Variația de viteză a injectării și de presiune din cilindrii de injectare poate fi urmărită în *fig.4.16*.

Unitățile de injectare pentru cele două materiale pot fi așezate în paralel sau în formă de V. În *fig.4.17* este prezentată construcția unei duze de injectare pentru cazul injectării cu cilindrii așezați în V.

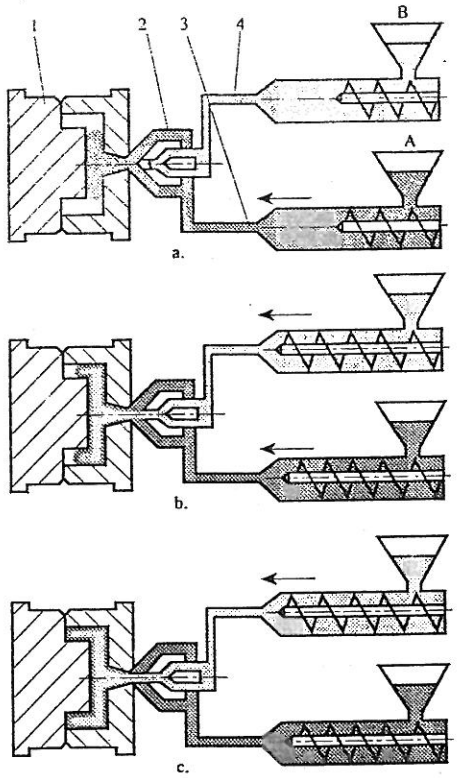


Fig.4.15. Injectare prin duză cu două canale:
1 - matriță; 2 - duză; 3 - cilindru de injectare pentru materialul A;
4 - cilindru de injectare pentru materialul B;
a, b, c - faze ale procesului.

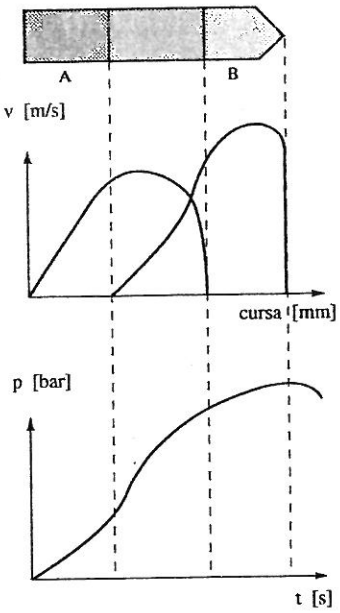


Fig.4.16. Variația vitezei de injectare și a presiunii la sistemul de injectare prin duză cu două canale:
A, B - material plastic.

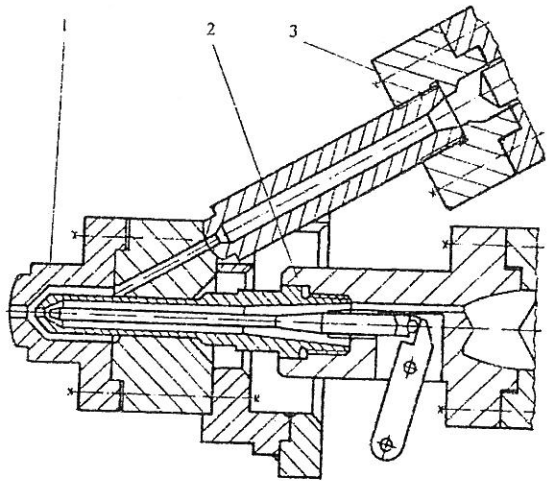


Fig.4.17. Duză cu două canale la sistemul de injectare cu cilindri plasați în V:
1 - duză; 2 - unitate de injectare pentru materialul A; 3 - unitate de injectare pentru materialul B;

4.3.4. Injectarea prin duză cu trei canale

Este procedeul de injectare prin care trei materiale plastice diferite, din trei unități de plastifiere, sunt injectate în matriță prin intermediul unei duze comune cu trei canale, realizând o piesă injectată sandwich.

Principial procedeul poate fi urmărit în *fig.4.18.* În prima fază se injectează materialul plastic *A*, în faza a doua materialul *A* și *C*, în faza a treia materialul *A*, *B* și *C*. În ultima fază compactizarea se realizează cu materialul *B* care presează materialele *A* și *C* pe pereții matriței.

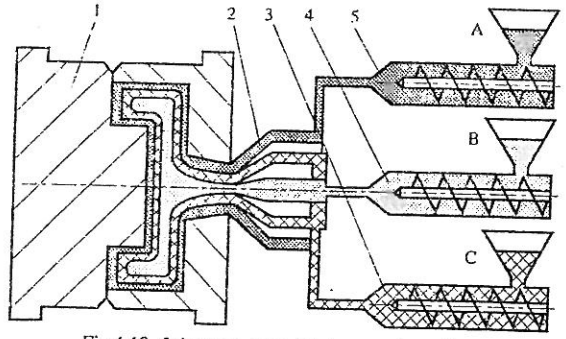


Fig.4.18. Injectarea prin duză cu trei canale:
1 - matriță; 2 - duză; 3 - cilindru de injectare pentru materialul C; 4 - cilindru de injectare pentru materialul B; 5 - cilindru de injectare pentru materialul A.

4.4. Injectarea contracadentă

Apariția unor materiale termoplastice după anul 1985, a polimerilor fluid cristalini, a determinat apariția procedeului de injectare contracadentă. Procedeul face posibilă apariția unor piese injectate cu calități deosebite din polimeri fluid cristalini, deschizând posibilități de extindere în prelucrarea materialelor termoplastice tradiționale [17].

4.4.1. Principiul procedeului

La injectarea convențională a termoplastelor, materialul plastic topit este injectat din cilindrul de injectare, prin duză și rețeaua de injectare, în cavitatea matriței. După umplerea cuibului contracția este compensată prin presiunea ulterioară. Acest principiu este păstrat și în cazul injectării multicomponente și a injectării sandwich. În toate aceste cazuri, pentru a obține o piesă injectată de calitate (dimensiuni, calitatea suprafeței, etc.) sunt necesate presiuni de injectare și presiuni ulterioare înalte în condițiile menținerii închise a matriței.

Noul principiu, de injectare contracadentă, folosește două agregate de injectare legate în serie prin intermediul canalelor de injectare și a cavității matriței (*fig.4.19*). Materialul termoplastic topit în agregatul de injectare *3* curge forțat până la agregatul de injectare *2*. În timpul procesului de umplere a cavității, topitura de material plastic este supusă unei presiuni prestabilite, care poate fi reglată și comandată precis prin diferența dintre presiunile hidraulice care acționează asupra celor doi melci.

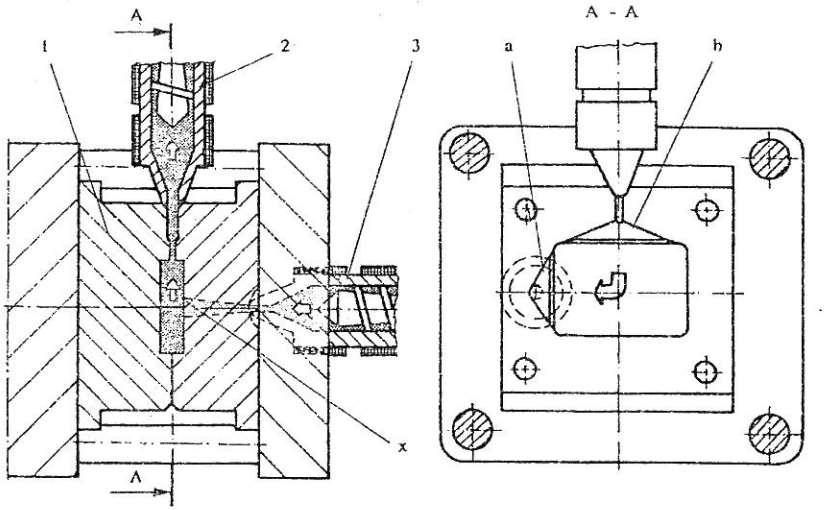


Fig.4.19. Principiul injectării contracadente:
1 - matriță; 2, 3 - cilindru de injectare; a - sistemul de injectare pelicular al cilindrului 3; b - sistemul de injectare pelicular al cilindrului 2; x - curent de topitură.

În timpul injectării melcul din agregatul de injectare *3* execută operația de pompare, iar melcul din agregatul de injectare *2* se retrage. Fluxul de material dintre cele două agregate poate fi modificat și adaptat după dorință, prin modificarea parametrilor (presiune, viteză, etc.). După operația de umplere a cavității, mișcarea melcilor este oprită și, prin fixarea unei presiuni asupra celor doi melci, se obține presiunea ulterioară pentru compensarea contracțiilor. Asemănător ciclului tradițional urmează faza de răcire și aruncare a piesei injectate.

4.4.2. Variante constructive

Există mai multe variante tehnice de realizare a injectării contracadente (*fig.4.20*).

Injectare prin străbaterea matriței (*fig.4.20.a*). Această variantă a fost descrisă ca principiu al procedeului. Materialul plastic străbate matrița de la un agregat la celălalt prin reteaua de injectare și cavitate.

Injectare alternantă (*fig.4.20.b*). În această variantă materialul plastic topit poate fi împins spre cavitate de la ambele agregate.

Injectare contracadentă simplă (*fig.4.20.c*). După operația de umplere a matriței, materialul termoplastic topit poate fi împins dintr-o parte în cealaltă între cele două agregate.

Injectare sandwich (*fig.4.20.d*). Prin această alternativă materialul termoplastic topit este introdus în cavitate alternativ din diferite părți.

Injectare cu aerisire (*fig.4.20.e*). Prin această variantă materialul plastic poate fi aerisit cu ajutorul unui ventil de aerisire plasat în duza agregatului de injectare.

Injectare cu controlul temperaturii și injectare cu interval de pauză sunt alte două variante ale injectării contracadente.

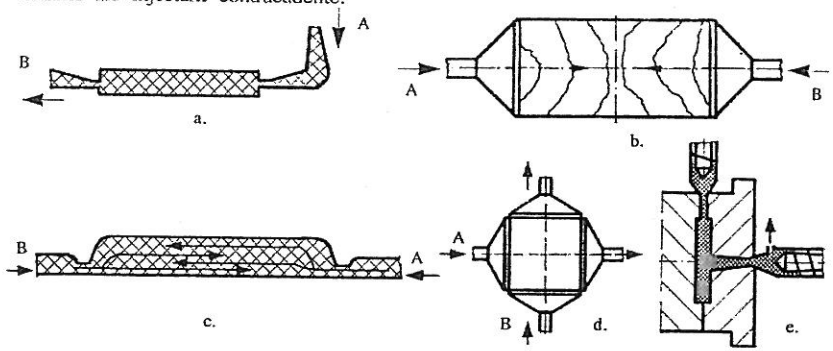


Fig.4.20. Variante de injectare contracadentă:
a - prin străbaterea matriței; b - alternantă; c - contracadentă simplă; d - sandwich; e - cu aerisire; A, B - direcții de curgere.

4.4.3. Importanța procedeului

Procedeul de injectare contracadentă prezintă mai multe avantaje:

- posibilitatea extinderii la materialele termoplastice tradiționale;

- îmbunătățirea liniei de îmbinare a pieselor injectate;
- influența cristalizării în interiorul unei piese injectate în cazul materialelor cristaline;
- posibilitatea injectării unor materiale termoplastice noi mai greu de injectat prin procedee convenționale.

BIBLIOGRAFIE

1. *Thoma, M.* Rationalisieren durch Mehrkomponenten-Spritzgiessen. Kunststoffe, nr. 8, 1988.
2. *Manea, Gh.* Prelucrarea prin injecție a materialelor termoplastice. Editura Tehnică, București, 1986.
3. *** Engel Information Mehrfarben und Mehrkomponentenspritzguss. Broșura firmei Engel, septembrie, 1988.
4. *** Zweifarben-Spritzgiessen. Broșura firmei Arburg.
5. *** Zweifarben-Spritzgiessautomaten. Broșura firmei Engel, nr.4, 1970.
6. *Munteanu, M.* Fabricarea obiectelor din materiale plastice prin injectare bicoloră. Industria Ușoară, nr. 11, 1964.
7. *** Injection moulding of hollow-shaped parts. Broșura firmei Battenfeld, nr. 2, 1989.
8. *Eckardt, H., Ehritt, J.* The airmould process. A new process for the economical production of mouldings of high technical quality. Broșura firmei Battenfeld.
9. *Leyrer, H.* Spritzgiessen mit dem Gasinnendruckprocess. Plastverarbeiter, nr. 2, 1990.
10. *Klotz, B., Bürkle, E.* Neue Möglichkeiten bei Spritzgiessen durch Gasinnendruckverfahren. Kunststoffe, nr. 11, 1989.
11. *** Spritzgiesstechnik 1990. Broșura firmei Battenfeld, 1990.
12. *Escales, E.* Das ICI-Sandwich-Spritzgiesverfahren. Kunststoffe, nr. 11, 1970.
13. *Kager-Kocsis, J., Szafner, A.* Habfröccsöntés technológiak és a szerkezeti habok alkamazása. Münyag és gumi, nr. 4, 1978.
14. *Mink, W.* Grundzüge Spritzgiesstechnik. Zechner and Hüthig Verlag Gmbh, Speiyer am Rhein, 1979.
15. *** 2-Komponenten oder Sandwich Verfahren. Broșura firmei Engel, E-16-07, 1988.
16. *** CD plus. Broșura firmei Battenfeld.
17. *Gutjahr, L., M., Becker, H.* Herstellen technischer Formteile mit Gegentakt Spritzgiessverfahren. Kunststoffe, nr. 11, 1989.

5. Piese injectate

5.1. Concepţia constructivă şi tehnologică

Forma pieselor injectate din materiale termoplastice se concepe în corelare cu o serie de reguli tehnologice rezultate din restricţiile impuse de natura materialului, caracteristicile matriţei şi tipul de maşină utilizat.

Condiţiile de utilizare ale piesei determină geometria, dimensiunile, masa ei, etc.

Experienta şi cunoasterea caracteristicilor tehnice generale ale diferitelor materiale au determinat fundamentarea unor reguli generale folosite la obţinerea unei geometrii corecte a pieselor obţinute prin procedeul de injectare:

- piesa injectată trebuie să aibă forma cea mai simplă posibil;
- dimensiunile şi masa piesei trebuie să fie cât mai mici;
- este necesar ca prin configuraţia piesei să fie îndeplinite condiţiile de scoatere a acesteia din matriţă;
- configuraţiile complicate şi proeminenţele se evită pe cât posibil pentru a nu complica construcţia matriţei;
- se evită, pe cât posibil, muchiile ascuţite;
- în general, se ia în considerare faptul că materialul plastic îşi micşorează dimensiunile după scoaterea din matriţă, influenţând precizia dimensională a piesei injectate.

În faza de proiectare a produsului trebuie să se ia în considerare mai mulţi factori care ţin de: alegerea materialului plastic, alegerea locului de injectare, contracţia materialului, grosimea pereţilor, etc. [1...13, 15, 16, 22...24].

5.1.1. Alegerea materialului plastic

Pentru alegerea corespunzătoare a materialului plastic, în concepţia unei piese injectate rebuie să se ţină seama de următoarii factori (capitolul 1.6.1):

- durata de viaţă a piesei injectate;
- configuraţia piesei injectate;
- calităţile optice şi de transparenţă impuse piesei;
- solicitările termice în exploatare;
- solicitările mecanice;
- solicitări de natură electrică;

- solicitări de natură chimică;
- costul materialului plastic.

5.1.2. Planul de separaţie

Matriţa de injectare este, în principal, compusă din două părţi, mobilă şi fixă, delimitate de o suprafaţă numită plan de separaţie, în general perpendicular pe direcţia de deschidere a matriţei. Aşezarea piesei injectate în matriţă în raport cu planul de separaţie a matriţei determină forma piesei injectate, eliminarea uşoară din matriţă a produsului, simplitatea constructivă a matriţei.

În *fig.5.1* se oferă câteva exemple de piese injectate a căror formă este în concordanţă cu planurile de separaţie ale matriţei. Se observă că la piesa din *fig.5.1.c* piesa este realizată în raport cu două plane de separaţie; în afară de planul principal de separaţie *I*, partea filetată a filetului trapezoidal se realizează în bacurile matriţei care se deschid în planul de separaţie *II*.

Alegerea planului de separaţie se face cu deosebită grijă, deoarece în planul de separaţie există pericolul apariţiei bavurilor, care influenţează atât estetica pieselor cât şi funcţionalitatea lor. Pentru o piesă injectată cu filet de etanşare la exterior, la care nu se admit bavuri, se alege la construcţia matriţei soluţia de realizare a filetului în bucşă de deşurubare în loc de soluţia cu filet realizat în bacuri.

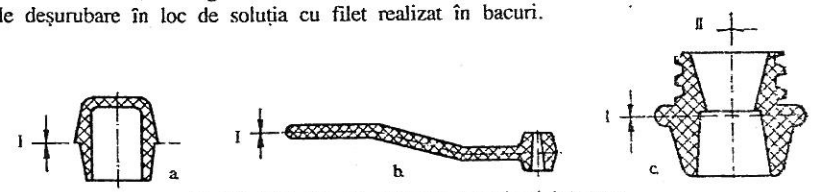


Fig.5.1. Planurile de separaţie ale piesei injectate:
a - plan de separaţie simplu; b - plan de separaţie în trepte;
c - piesa injectată cu două planuri de separaţie; I, II - planuri de separaţie.

5.1.3. Locul de injectare

Alegerea locului de injectare este rezultatul analizării mai multor factori restrictivi, şi anume:

- *de natură estetică*, datorită faptului că punctul de injectare lasă totdeauna o urmă pe suprafaţa piesei ca urmare a desprinderii produsului de reţeaua de injectare. Pentru piesele care reclamă condiţii de estetică deosebite, punctul de injectare este cât mai mic posibil sau se alege într-un loc cât mai puţin vizibil;
- *referitor la rezistenţa mecanică*, ţinând seama de faptul că punctele de injectare şi locurile de întâlnire (liniile de sudură) constituie locurile de slabă rezistenţă şi din acest motiv trebuie plasate în locuri mai puţin solicitate;
- *privind curgerea materialului*, care determină ca punctele de injectare să fie plasate astfel încât umplerea cuiburilor să se facă în toate zonele în acelaşi timp (limitând riscurile deformărilor) evacuarea din cuib fiind asigurată;
- *de natură funcţională*, care implică ca punctul de injectare să nu se plaseze

de obicei pe suprafețe funcționale, mai ales în cazul unor mecanisme sau repere în mișcare, concomitent cu recomandarea generală ca punctul de injectare să fie plasat pe axele de simetrie ale pieselor.

5.1.4. Grosimea pereților

Stabilirea grosimii pereților piesei injectate se face pentru o valoare minimă necesară, care depinde de:

- destinația și sarcinile la care este expusă piesa injectată;
- forma piesei;
- caracteristicile reologice ale materialului termoplastic.

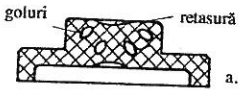
În principiu se urmărește ca grosimea pereților piesei injectate să fie uniformă pentru a evita curgerea turbulentă la injectare, care are drept consecință formarea de goluri, retasuri și apariția tensiunilor interne în piesă (*fig.5.2*).

În *fig.5.3* sunt prezentate soluții constructive pentru piesele injectate. La proiectarea pieselor nu se poate respecta totdeauna menținerea unei grosimi uniforme a pereților, trecerea de la o grosime la alta se făcându-se progresiv (*fig.5.3.b, e*). Schimbarea bruscă de secțiune conduce în interiorul piesei injectate, ca urmare a turbulenței materialului termoplastic topit, la apariția unor tensiuni care determină ruperea piesei injectate la o solicitare mecanică ulterioară (*fig.5.3.a*).

Formarea „locurilor calde" prin aglomerări de material, în cazul pereților groși ai unei piese injectate, determină prelungirea ciclului de injectare ca urmare a măririi timpului de răcire în matriță. Concentrarea maselor de material și formarea „locurilor calde" se realizează mai ales în colțurile piesei, la unirea pereților laterali cu fundul piesei sau la intersecția mai multor pereți. Legătura între pereți trebuie din această cauză realizată prin rotunjiri cu raze prescrise, în vederea reducerii turbulențelor și eliminarea tensiunilor interne (*fig.5.3.f, g, h*).

Raportul rază de rotunjire/grosime de perete nu trebuie să fie mai mic de 0,6 ($r / s \geq 0,6$). În practică razele de rotunjire între 1...1,5 mm dau rezultate foarte bune.

Pentru a realiza piese injectate cu pereți subțiri, datorită vâscozității materialului



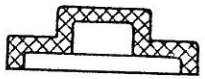


Fig.5.2. Exemple de piese injectate:
a - proiectată incorect;
b - proiectată corect.

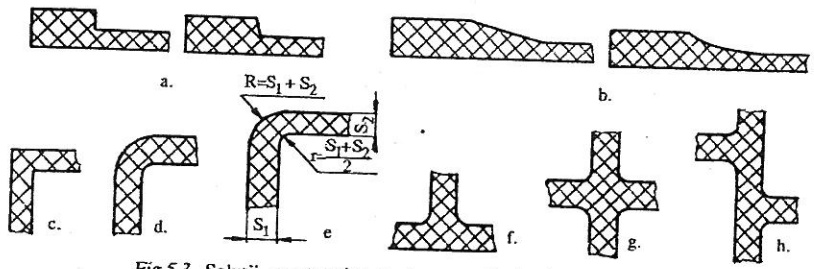


Fig.5.3. Soluții constructive pentru pereții pieselor injectate:
a, c - incorect; b, d, e, f, g, h - corect.

în cele mai multe cazuri este necesar să se prelucreze materialul termoplastic la o temperatură mai ridicată, ceea ce duce deasemenea la prelungirea timpului de injectare. În practică se folosesc, în general, grosimi de perete între 1...1,2 mm. Pentru piese miniaturale și pentru materiale cu indice de curgere mare se poate coborî grosimea peretelui piesei injectate până la 0,3...0,5 mm. Pentru piese de dimensiuni mari sau piese care prin funcționalitate necesită grosimi de pereți mărite, se folosesc de preferință materiale plastice expandate.

5.1.5. Bordul superior

Forma bordului superior a pieselor injectate de revoluție și a pieselor injectate paralelipipedice trebuie astfel proiectat încât să nu modifice grosimea pereților. Datorită contracțiilor diferite, într-o piesă injectată apar deformații care sunt amplificate pe conturul pieselor de dimensiuni mai mari, atât la formele de revoluție cât și la cele paralelipipedice. Pentru rezolvare se impun soluții constructive de profilare a bordului (*fig.5.4*).

5.1.6. Forma fundului

Diferite soluții constructive pentru fundul pieselor injectate de revoluție sunt prezentat în *fig.5.5*.

Pentru piesele injectate paralelipipedice se propun soluțiile constructive din *fig.5.6*. Soluțiile constructive din *fig.5.6.a, c, d* presupun grosimi de pereți constante, iar *fig.5.6.b* prezintă peretele cu grosimea mărită în zona mediană a fundului.

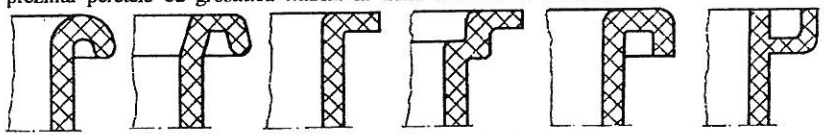


Fig.5.4. Forma bordului superior al pieselor injectate.

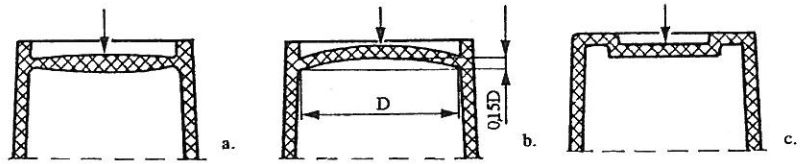


Fig.5.5. Forma fundului la piesele injectate cilindrice și tronconice:
a - fund lenticular; b - fund lenticular bombat; c - fund profilat.

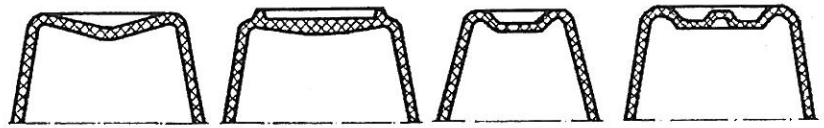


Fig.5.6. Soluții constructive pentru fundul pieselor injectate de formă paralelipipedică.

5.1.7. Pereţi laterali

La materialele termoplastice cristaline, datorită diferenţei mari dintre contracţia longitudinală şi contracţia transversală apar deformaţii în piesele injectate dacă nu se găsesc rezolvări adecvate pentru pereţii laterali. Există soluţii constructive pentru pereţii laterali care împiedică deformaţia unei piese injectate (*fig.5.7.a*). Pentru o piesă injectată de formă paralelipipedică injectată central (*fig.5.7.b*) nervura lăţită plasată pe linia mediană a pereţilor laterali permite materialului plastic să ajungă prima dată în nervură şi astfel să se realizeze un echilibru între contracţia transvesală şi cea longitudinală.

5.1.8. Orificii în pereţi

Foarte des întâlnite în proiectarea pieselor injectate sunt orificiile de diferite dimensiuni având axa paralelă cu axa de mişcare a matriţei. Aceste orificii sunt simplu de realizat, fie prin intermediul unui miez, fie în cazul unor orificii adânci, prin intermediul a două miezuri din ambele părţi ale matriţei. Proiectarea unei piese injectate cu mai multe orificii ridică probleme de curgere a materialului plastic în jurul miezurilor, precum şi probleme la sudarea fronturilor de întâlnire.

Orificiile în pereţi pot fi străpunse sau înfundate (*fig.5.8*). Pentru orificii străpunse se recomandă, din practică, ca adâncimea orificiului să **nu** depăşească valoarea $h = (8...12)d$, iar pentru orificii înfundate se recomandă ca valoarea maximă pentru adâncimea acestora să fie de $h = (5...6)d$, în care d, este diametrul orificiului.

O atenţie deosebită în proiectarea pieselor injectate se acordă bosajelor cu axă paralelă cu direcţia de mişcare a matriţei, plasate lângă pereţii laterali. Se are în vedere în mod deosebit evitarea aglomerării de material care poate determina retasuri, contracţii, precum şi prelungirea ciclului de injectare (*fig.5.9*).

Piesa injectată necesită, în multe cazuri, proiectarea unor orificii în pereţii laterali. Pentru realizarea acestor orificii, se acordă atenţie în mod deosebit problemelor ridicate la construcţia matriţei de injectat. Se caută în general realizarea acestora printr-o soluţie constructivă cât mai simplă posibil, care asigură o cadenţă de lucru mare şi o matriţă de injectat cu cost redus.

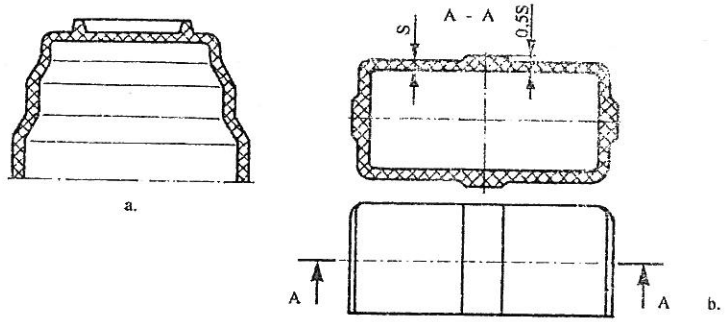


Fig.5.7. Pereţi laterali pentru piese injectate paralelipipedice:
a - pereţi laterali în trepte; b - pereţi laterali cu nervură centrală.

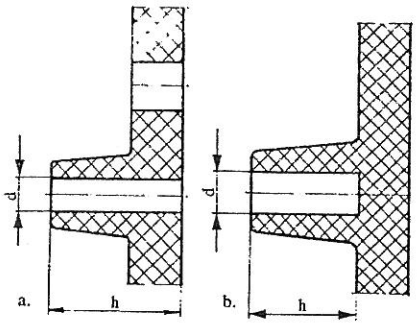


Fig.5.8. Orificii în pereţii pieselor injectate:
a - străpunse; b - înfundate.

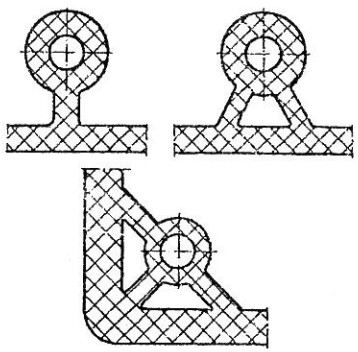


Fig.5.9. Bosaje la piesele injectate.

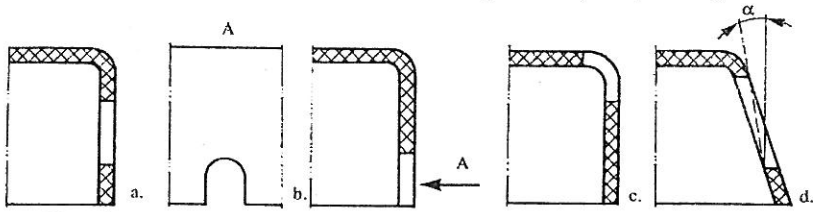


Fig.5.10. Soluţii constructive pentru orificiile pereţilor laterali ai pieselor injectate.

În *fig.5.10* sunt prezentate câteva soluţii constructive de realizare a orificiilor în pereţii laterali ai unei piese injectate. Orificiul din *fig.5.10.a* poate fi realizat în peretele lateral numai cu o deschidere laterală, cu ajutorul unui bac, ceea ce determină o soluţie constructivă mai scumpă. Soluţiile de realizare a orificiilor din *fig.5.10.b, c* sunt mai ieftine, deschiderile realizându-se cu poansoane plasate în partea mobilă sau fixă a matriţei. În unele cazuri (*fig.5.10.d*) înclinarea peretelui lateral al piesei precum şi grosimea de perete permite realizarea orificiului ca urmare a închiderii cuibului şi poansonului principal al matriţei pe o suprafaţă de închidere cu un unghi de înclinare α de cel puţin 1°.

5.1.9. Conicităţi

Piesele injectate se contractă pe miezul matriţei în timpul procesului de răcire în matriţă. Acest fenomen implică înclinarea pereţilor cuibului în vederea scoaterii piesei precum şi înclinarea miezului în vederea aruncării din matriţă. În *fig.5.11* este prezentat cazul unei piese injectate şi unghiurile de înclinare. Se observă că unghiurile de înclinare ale miezurilor şi ale pereţilor piesei sunt orientate diferit în raport cu planul de separaţie al matriţei. Contracţiile pieselor injectate depind în mare măsură de tipul materialului şi de aceea conicităţile pieselor injectate sunt tratate diferit pentru fiecare material în parte. În general, se recomandă valori ale unghiurilor deînclinare (α şi β) între 30' şi 3°. Valorile unghiurilor depind de adâncimea şi circumferinţa piesei injectate, valorile mai mici ale unghiurilor de înclinare fiind practicate pentru adâncimi sau circumferinţe mai mici. Alegerea diferenţiată de către proiectant a acestor unghiuri, poate determina, în cazul unor piese complexe, rămânerea piesei injectate în partea în care sunt dispuse aruncătoarele.

În *tab.5.1* se pot determina diferitele conicități ale unei piese injectate în funcție de adâncimea h și unghiul de înclinație α al piesei injectate.

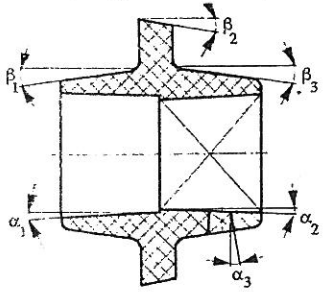


Fig.5.11. Unghiurile de înclinare ale unei piese injectate: α_1, α_2, α_3 - unghiurile de înclinare interioare ale pereților; β_1, β_2, β_3 - unghiurile de înclinare exterioare ale pereților.

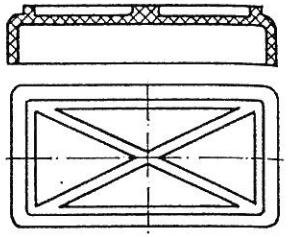


Fig.5.12. Nervuri radiale și de perimetru.

Tab.5.1. **Conicitatea pentru diferite unghiuri de înclinare și înălțimi ale piesei injectate.**

Înălțime	Unghiul de înclinare al peretelui					
h [mm]	15'	30'	1°	1°30'	2°	3°
10	0,044	0,087	0,117	0,26	0,35	0,52
20	0,087	0,175	0,35	0,52	0,70	1,04
30	0,131	0,26	0,51	0,78	1,05	1,56
40	0,175	0,35	0,68	1,04	1,4	2,08
50	0,218	0,43	0,85	1,3	1,75	2,6
60	0,262	0,52	1,02	1,56	2,1	3,12
70	0,305	0,61	1,2	1,82	2,45	3,64
80	0,341	0,69	1,36	2,1	2,8	4,16
90	0,392	0,78	1,53	2,34	3,15	4,68
100	0,436	0,87	1,71	2,6	3,5	5,2

5.1.10. Nervuri de rigidizare

Pentru creșterea rezistenței mecanice și a rigidității piesele injectate se proiectează adeseori cu nervuri de rigidizare. Nervurile de rigidizare se prevăd mai ales la piese cu pereți subțiri și la cele de dimensiuni mari. Ele se folosesc atât la consolidarea pereților laterali cât și a fundului.

Pentru întărirea pereților laterali se folosește, în general, o nervură plasată în zona mediană, orientată pe direcția de aruncare a piesei din matriță. În cazul în care se folosesc mai multe nervuri amplasate pe perete, cele din zona marginală au o secțiune mărită pentru preluarea sarcinilor de deformație care iau naștere în aceste zone.

Întărirea zonei de fund a pieselor cu suprafață mare se realizează atât prin dispunerea unor nervuri de-a lungul perimetrului piesei cât și radial (*fig.5.12*).

Dacă se impune realizarea unei rigidități mărite la piesa injectată atât pentru pereții laterali cât și în zona fundului, se procedează la proiectarea unor nervuri longitudinale (*fig.5.13*).

În general, nervurile transversale se proiectează având lățimea de aproximativ jumătate

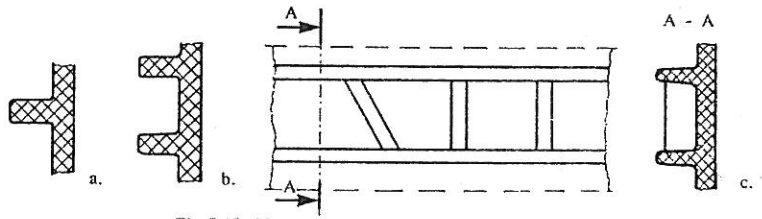


Fig.5.13. Nervuri transversale și longitudinale:
a - nervură simplă; b - nervură dublă; c - nervuri transversale și longitudinale.

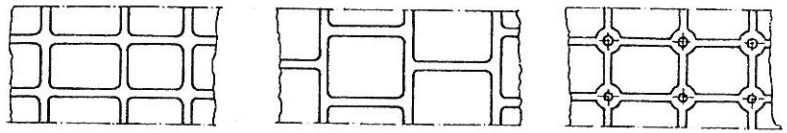


Fig.5.14. Rețea de nervuri.

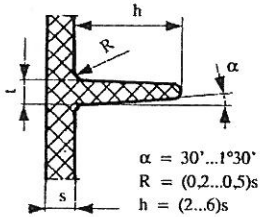


Fig.5.15. Dimesiuni geometrice pentru o nervură.

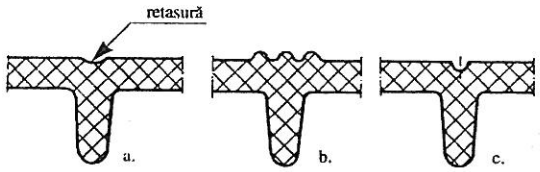


Fig.5.16. Soluții constructive pentru mascarea retasurilor:
a - piesă cu retasură; b, c - soluții constructice corecte.

din nervurile longitudinale, în vederea economisirii materialului plastic. Pentru rigidizarea cu nervuri a unor piese de dimensiuni mari (de exemplu navete, cutii, etc.), se folosesc nervuri care alcătuiesc o rețea de o anumită configurație (*fig.5.14*).

Trecerea de la o nervură la alta se face prin raze de curbură care ușurează trecerea materialului termoplastic topit în timpul procesului de injectare. Se urmărește în același timp însă a se limita valorile acestor raze în vederea reducerii volumului de material injectat și a duratei ciclului de injectare. Dimensiunile geometrice pentru o nervură sunt cele recomandate în *fig.5.15* și *tab.5.2*.

Cu toate măsurile luate în legătură cu geometria nervurii, în raport cu grosimea piesei injectate, de multe ori apar în peretele piesei, pe partea opusă nervurii, retasuri. Pentru piesele injectate cărora li se impun condiții de estetică deosebită, aceste retasuri se pot masca cu ajutorul unor nervuri mai mici sau cu șanțuri decorative (*fig.5.16*).

5.1.11. Profilări de suprafață

Piesele injectate pot fi prelucrate cu suprafața inscripționată cu: cifre, litere, simboluri necesare definirii destinației piesei, marcaje de fabrică, standarde, preț, etc. Inscripționările pe piese injectate pot fi proeminente sau în adâncime, cele mai folosite fiind cele proeminente care se obțin prin gravare directă în matriță (*fig.5.17*). Foarte des folosită în acest caz este cuprinderea inscripției într-o pastilă interschimbabilă cu

Tab.5.2. Grosimea nervurii de rigidizare pentru diferite tipuri de materiale termoplastice.

Material	t
Poiletilenă	(0,5...0,7)S
Polipropilenă	(0,3...0,6)S
Polistiren	(0,5...0.8)S
Poliamidă	(0,5...0,6)S
Poliacetal	(0,6...0,7)S
Polietilentereftalat	0,6S
Policarbonat	0,6S pentru S>3mm
	0,4S pentru S<3mm
Polibutilentereftalat	0,6S pentru S>3mm
	0,4S pentru S<3mm
Poliester termoplastic	0,6S pentru S>3mm
	0,4S pentru S<3mm

LEGENDĂ: *S = grosimea peretelui piesei injectate; t = grosimea nervurii de rigidizare.*

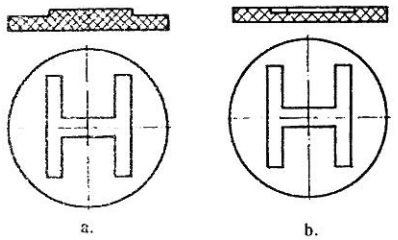


Fig.5.17. Piese injectate cu inscripționări:
a - în relief; b - în adâncime.

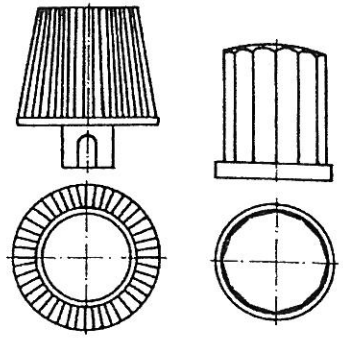


Fig.5.18. Piese injectate profilate exterior.

numeroase avantaje (posibilitatea de schimbare a inscripției, păstrarea inscripției la repararea matriței prin rectificare, etc.). Forma cea mai convenabilă pentru astfel de pastile este cea cu secțiune circulară.

În unele cazuri, suprafețele pieselor injectate impun realizarea unor suprafețe matisate, marcaje contrastante în raport cu suprafața, decorări de suprafață, etc. Prin folosirea posibilităților de prelucrare a suprafeței matriței, sablare sau prin electroeroziune, se pot obține efectele dorite. Unele piese injectate necesită asigurarea unor sisteme de prindere manuală, în vederea unei bune manevrabilități (capace, mânere, butoane, etc.). În acest caz, pe suprafața piesei se proiectează diferite profile în matriță (*fig.5.18*).

5.1.12. Inserții

În proiectarea pieselor din materiale termoplastice se ivesc cazuri în care înglobarea în piesa injectată a unor piese confecționate din alt material (metal, lemn, material plastic, etc.) determină obținerea unei piese injectate cu proprietăți superioare.

Cele mai folosite inserții sunt inserțiile metalice. Folosirea acestor inserții implică pe lângă avantaje și anumite inconveniente, din care mai importante sunt:

- introducerea inserțiilor în matriță făcându-se manual, se prelungește ciclul de injectare, iar mașina funcționează numai în regim semiautomat;
- există necesitatea execuției cu mare precizie dimensională a inserțiilor;
- diferența de contracție dintre miezurile metalice și materialul termoplastic determină apariția tensiunilor interne în piesa finală;
- piesele metalice necesită, în unele cazuri, includerea lor într-un perete cu grosime mare;
- piesele metalice necesită încălziri, în multe cazuri, la temperaturi de 90...120°C.

Dezavantajele prezentate determină folosirea inserțiilor numai în cazuri bine justificate. În *fig.5.19* sunt prezentate câteva tipuri de inserții metalice pentru piesele injectate din materiale termoplastice. Din figură se observă că:

- pentru fixarea sigură a fiecărei inserții în masa de material plastic acesta se prevede cu: canale radiale, canale radiale și suprafață randalinată, suprafață crestată, orificii, suprafețe frezate, etc. (*fig.5.19.a...d*);
- în cazul inserțiilor cu filete interioare este recomandabilă folosirea celor cu capăt închis, astfel încât în timpul procesului de injectare materialul termoplastic să nu se scurgă pe lângă miezurile suport și să înfunde profilul filetului (*fig.5.19.b*);
- în vederea injectării, inserțiile se fixează în matriță pe miezuri suport;
- inserțiile cu lungime mare, ca de exemplu în cazul șurubelnițelor, cablurilor, cârligelor pentru umerașe, etc. pot depăși cadrul matriței. Fixarea lor se asigură suplimentar în matriță sau în afara matriței, astfel ca poziția acestora să nu se modifice în timpul procesului de injectare (*fig.5.19.c*).

Inserțiile metalice se introduc mult mai ușor în matrițele de injectat montate pe mașini cu închidere verticală. În cazul în care inserțiile se folosesc în matrițe montate pe mașini cu închidere orizontală, se recomandă așezarea lor pe partea fixă a matriței și asigurarea, în cazul în care acest lucru este posibil, cu elemente de siguranță contra mișcării axiale (bile cu arc, magneți).

5.1.13. Filete

Piesele injectate din materiale termoplastice se pot proiecta atât cu filete interioare cât și cu filete exterioare. Filetele pot fi realizate direct în matriță în timpul procesului de injectare sau după injectare printr-o prelucrare ulterioară. Realizarea filetului direct în matrița de injectare este soluția preferată datorită productivității ridicate, a calității

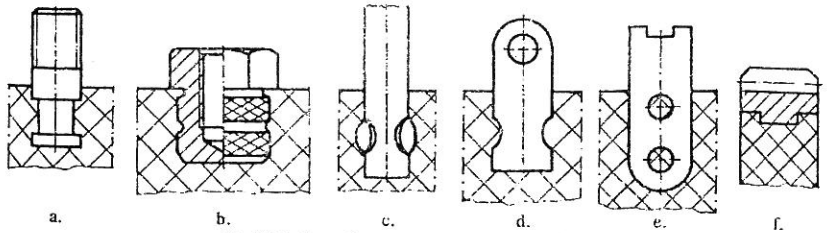


Fig.5.19. Inserții metalice în piese injectate:
a - cu canal radial; b - cu canale radiale și suprafață randalinată; c - cu suprafață crestată; d - cu degajări; e - cu găuri; f - cu suprafețe canelate.

suprafeței și preciziei dimensionale. Soluțiile constructive de realizare a filetelor interioare și exterioare direct în matriță sunt tratate pe larg în capitolul 6.

În legătură cu realizarea filetelor direct în matriță sunt necesare următoarele observații tehnologice:

- piesa injectată se poate proiecta cu un profil de filet variat: metric, rotund, fierăstrău, withworth, etc.;
- pentru piesele interioare se recomandă ca profilul să prezinte o mică conicitate pe toată lungimea lui în vederea demulării ușoare;
- lungimea filetului interior se limitează la minimum posibil pentru a nu complica construcția matriței;
- la o piesă injectată complexă, prevăzută cu mai multe filete interioare, se recomandă pe cât posibil limitarea la minimum a numărului găurilor filetate și orientarea acestora într-o singură direcție;
- în cazul filetelor exterioare se are în vedere destinația lor la alegerea soluției constructive de realizare. Filetele exterioare pretențioase, care se folosesc la etanșări, determină alegerea unei soluții constructive adecvate;
- pentru piesele injectate cu filet exterior, de mari dimensiuni, se poate proiecta un filet parțial, ceea ce permite folosirea unei matrițe mai simple din punct de vedere constructiv.

5.2. Concepția asamblării

Din motive care țin de limitele procesului tehnologic, piesele injectate care nu se pot realiza dintr-o bucată necesită o asamblare ulterioară.

La montajul a două piese în vederea realizării unui ansamblu pot apărea diferențe dimensionale pe contur datorită contracțiilor care influențează estetica produsului. Un astfel de caz este prezentat în *fig.5.20* unde, pentru a masca diferențele pe contur ale cutiei, se oferă mai multe soluții constructive. Există mai multe procedee de asamblare a pieselor injectate: prin autofixare, prin sudură, prin nituire, prin lipire.

5.2.1. Asamblări prin autofixare

Asamblările prin autofixare sunt îmbinările prin care piesele injectate se asamblează prin împingere forțată, deformarea elastică a uneia sau a ambelor piese și revenirea la starea inițială netensionată la terminarea asamblării. Piesele astfel asamblate rămân

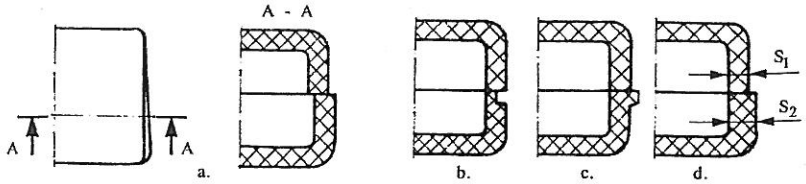


Fig.5.20. Asamblarea corpului și capacului unei piese injectate:
a - diferențe de contur; b...d - soluții constructive de mascare a diferențelor la asamblare.

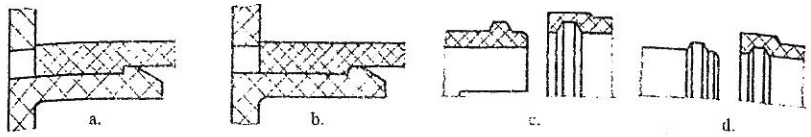


Fig.5.21. Asamblări prin autofixare:
a - cu braț, nedemontabilă; b - cu braț, demontabilă;
c - inelară, secționată; d - inelară nesecționată.

netensionate până la apariția unei forțe exterioare care tinde să desfacă îmbinarea [15, 16, 35]. Asamblările prin autofixare sunt deosebit de avantajoase pentru piesele injectate deoarece materialul termoplastic prezintă modul de elasticitate mic și suportă deformări elastice mari necesare la realizarea îmbinării

Tipurile principale de asamblări prin autofixare sunt prezentate în *fig.5.21*. Asamblările prin autofixare pot fi nedemontabile (*fig.5.21.a*) și demontabile (*fig.5.21.b, c, d*). Asamblările nedemontabile se desfac numai cu ajutorul unei forțe mari, piesele injectate suferind deformări remanente, noua îmbinare realizându-se nesatisfăcător.

În timpul îmbinării, pentru învingerea forțelor elastice din asamblare, este necesar să se dezvolte o forță de asamblare adecvată, mărimea acestei forțe depinzând de tipul îmbinării. Forța la care rezistă asamblarea prin autofixare, fără ca să se producă desfacerea sau deteriorarea, se numește *forță de fixare*.

În cazul asamblărilor prin autofixare se fac următoarele observații [15]:

- asamblarea nedemontabilă asigură, de obicei, o forță de fixare mai mare decât cea demontabilă;
- forțele de asamblare mai mici asigură de cele mai multe ori și forțe de fixare mai mici;
- pentru a obține o arcuire cât mai mare trebuie să se folosească capacitatea de deformare elastică a materialului termoplastic;
- pentru asamblările prin autofixare care necesită pentru demontare forțe exterioare, este necesar să se limiteze aceste forțe prin soluții constructive, deoarece există pericolul suprasolicitărilor care pot duce la ruperi;
- pentru asamblările demontabile care se montează și se demontează des, în vederea evitării solicitărilor de oboseală se permite o deformare mică.

5.2.1.1. Asamblări cu braț

În cazul asamblărilor demontabile cu braț, considerând brațul ca o bară încăstrată cu secțiune constantă, se pot determina: forța de asamblare, forța de fixare și forța de apăsare cunoscând caracteristicile materialului și dimensiunile geometrice ale brațului (*fig.5.22*).

Forța de asamblare F se calculează cu formula

$$F = N\frac{\mu + tg\alpha_1}{1 - \mu tg\alpha_1}. \qquad (5.1)$$

Forța de fixare R se calculează cu formula

$$R = N\frac{\mu + tg\alpha_2}{1 - \mu tg\alpha_2}. \qquad (5.2)$$

Forța N de apăsare se determină cu formula

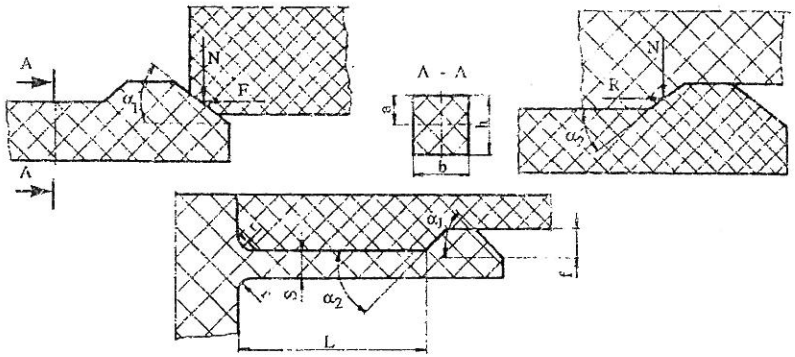


Fig.5.22. Elemente de calcul la asamblarea demontabilă cu braț.

$$f = \frac{N l^3}{I E_s}, \tag{5.3}$$

unde:

- μ - coeficientul de frecare dintre materiale;
- α_1 - unghiul de asamblare;
- α_2 - unghiul de reținere;
- f - săgeata;
- l - lungimea brațului;
- I - momentul de inerție al secțiunii brațului;
- E_s - modulul de elasticitate de coardă sau modulul secant.

Modulul de elasticitate de coardă E_s este, conform *fig.5.23*, tangenta coardei duse din originea axelor la un punct oarecare P de pe curba $\sigma_{(\varepsilon)}$. Valoarea lui E_s este în funcție de locul ocupat de punctul P pe curba $\sigma_{(\varepsilon)}$, dar totdeauna este mai mic decât modulul de elasticitate al materialului E_0.

Modulul de elasticitate de coardă E_s se poate prezenta grafic în funcție de alungirea ε pentru diferite materiale termoplastice (*fig.5.24*).

Coeficientul de frecare μ pentru diferite materiale termoplastice este prezentat în *tab.5.3*.

Alungirea ε a brațului, luând în considerare porțiunea marginală, va fi

$$\varepsilon = \frac{N l a}{I E_s}, \tag{5.4}$$

unde:

- a - distanța de la porțiunea marginală la centrul de greutate al secțiunii brațului.

Din relațiile (5.3) și (5.4) se determină

$$f = \frac{l^2}{3a}\varepsilon. \tag{5.5}$$

Deoarece pentru secțiunea brațului $a = h/2$, din relația (5.5) rezultă

$$f = \frac{2}{3}\frac{l^2}{h}\varepsilon. \tag{5.6}$$

Din această relație rezultă că săgeată se poate determina în funcție de alungire.

Pentru diferite materiale termoplastice se dau valorile admisibile ε_a (%) cu care se pot calcula săgețile admisibile f_a la asamblările cu braț (*tab.5.4*).

Pentru eliminarea tensiunilor se recomandă ca în încastrare brațul să prezinte raze de rotunjire r (*fig.5.22*), care trebuie să respecte relația [11, 16]

$$r \geq s. \tag{5.7}$$

Pentru asamblările demontabile cu braț se recomandă unghiul de asamblare α_1=15...30°, iar unghiul de reținere să aibă valoarea α_2 = 30...45° (asamblări frecvent demontabile) sau α_2 = 45° (asamblări rar demontabile) [15].

În cazul asamblărilor cu braț nedemontabile, forța de asamblare F se determină cu relația (5.1). Forța de fixare se determină cu relația

$$R = \sigma_f \frac{I}{(\frac{f}{3} + a)\frac{I}{K} + \frac{I}{A}}, \tag{5.8}$$

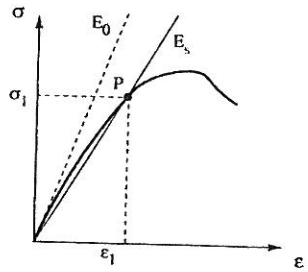


Fig.5.23. Determinarea modulului de elasticitate de coardă.

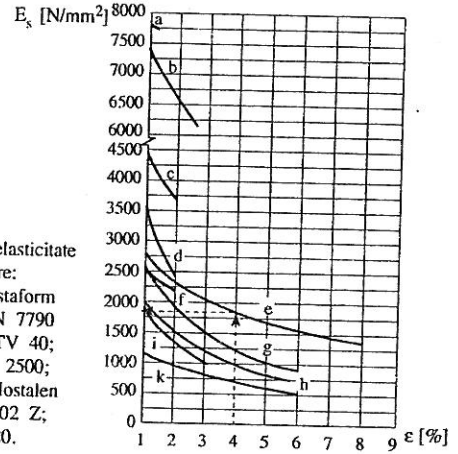


Fig.5.24. Determinarea modulului de elasticitate de coardă în funcție de alungire:
a - Celanex 2300 GV 1/30; b - Hostaform C 9021 GV 1/30; c - Hostalen PPN 7790 GV 2/30; d - Hostalen PPN 7190 TV 40; e - Hostaform C 9021; f - Celanex 2500; g - Hostalen PPN 07189TV20; h - Hostalen PPN VP7780GV20; i - Vandar 4 602 Z; k - Hostalen PPN 7780 GV 3/20.

Tab.5.3. **Coeficientul de frecare pentru diferite cuple de materiale.**

Material	în cuplă		
	același material plastic	materiale plastice diferite	oțel
POM	0,20...0,30	0,20...0,30	0,10...0,20
PA	0,45...0,30	0,30...0,40	0,30...0,40
PMMA	0,60...0,70	0,45...0,55	0,50...0,60
PTFE		0,10...0,20	0,12...0,22
PVC	0,55...0,60	0,50...0,60	0,55...0,60
PS	0,48...0,60	0,40...0,50	0,40...0,50
SAN		0,40...0,50	0,45...0,55
ABS	0,60...0,80	0,50...0,60	0,50...0,65
PC	0,55...0,65	0,40...0,50	0,45...0,55
PBT		0,30...0,40	0,35...0,40
PP	0,40	0,30...0,40	0,20...0,30
PEJD	0,65...0,70	0,50...0,60	0,55...0,60
PEID	0,40...0,50	0,18...0,20	0,20...0,25

unde:

- σ_f - rezistența la fluaj a materialului la temperatura dată:
- f - săgeata;
- a - distanța maximă a marginii față de centrul de greutate al secțiunii;
- K - factorul secțiunii: $K = f/a$;
- A - aria secțiunii brațului.

Forța N de apăsare se determină cu relația (5.3), iar săgeata cu relația (5.6). Valorile admisibile pentru alungire se găsesc în *tab.5.4.*

Pentru asamblările nedemontabile unghiul de asamblare α_1 se recomandă α_1 = 15...30°, iar unghiul de reținere $\alpha_2 = 90°$. În vederea creșterii rezistenței la încovoiere, brațul asamblărilor poate avea forme conform *fig.5.25.*

5.2.1.2. Asamblări cilindrice

Asamblările cilindrice pot fi continue (nesecționate) și discontinue (secționate) *fig.5.26.*

Forța de asamblare F se determină cu relația *(5.1)* iar forța de fixare R cu relația (5.2). Forța radială N se calculează cu formula

$$N = fdE_s x\,, \tag{5.9}$$

unde:

- f - săgeata;
- d - diametrul minim al piesei exterioare;
- E_s - modulul de elasticitate de coardă;

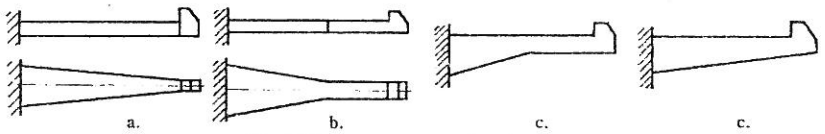


Fig.5.25. Forme constructive de brațe:
a, b, c, d - variante constructive.

Tab.5.4. **Valorile alungirilor admisibile ε_a pentru asamblările prin autofixare.**

Material	Asamblări cu braț			Asamblări cilindrice		
	Material omogen	Material cu fibră de sticlă		Material omogen	Material cu fibră de sticlă	
		20%	30%		20%	30%
PS	1,5			0,75		
ABS	3		1,2	1,5		
PVC rigid	3			1,5		
PVC plastifiat	12			6		
PEID	8			4		
PEJD	12	7	4,5	6	3,5	2,25
PP	10	6	2	5	3	1
POM	8		1	4		0,5
PC	4		1,8	2		0,9
PPO	4		1	2		0,5
PBT	5		1,5	2,5		0,75
CAB	2,5			1,25		
PA.6	6		2	3		
PTFE	5			2,5		

- x - factor geometric.

În timpul asamblării piesa injectată trebuie să se deformeze la o valoare egală cu înălțimea H a asamblării

$$H = D - d\,. \tag{5.10}$$

La asamblările cilindrice piesa exterioară este lărgită (ε_1), iar piesa interioară este comprimată (ε_2). Suma celor două deformații va fi egală cu înălțimea H de asamblare

$$H = \varepsilon_1 + \varepsilon_2\,. \tag{5.11}$$

Înălțimea de asamblare H corespunde cu săgeata f, iar pentru f se folosește relația deja amintită (5.6).

Pentru determinarea lui $H_{adm} = f_{adm}$ se folosește *tab.5.4* unde sunt date valorile pentru ε_{adm} (%).

O asamblare cilindrică continuă cu caracteristici geometrice pentru poliamidă este prezentată în *fig.5.27.*

La o asamblare cilindrică continuă pentru poliamidă se recomandă:

- pentru $D < 10$mm

$$\frac{d_2 - d_1}{d_1} \le 6\,, \tag{5.12}$$

$$D = (2...3)d_1\,; \tag{5.13}$$

- pentru $D > 10$mm

$$D = (1{,}5...2)d_1\,. \tag{5.14}$$

Formulele (5.1), (5.2), (5.9) sunt valabile pentru cazul în care locașul interior al piesei exterioare este aproape de capătul piesei. Cu cât crește distanța δ (*fig.5.26*) forța de asamblare tinde către o valoare maximă limită care este de 3 ori valoarea forței de asamblare calculate. Se ajunge la această limită dacă

$$\delta \ge 1{,}8\sqrt{d \cdot S}\,, \tag{5.15}$$

unde:

- d - diametrul interior al bucșei;
- S - grosimea peretelui bucșei.

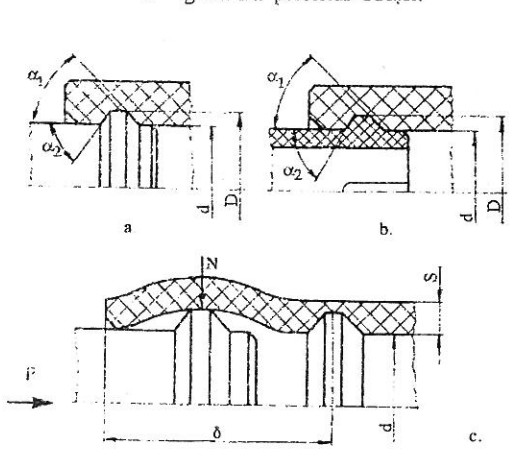


Fig.5.26. Elemente de calcul la asamblările cilindrice:
a, b - asamblări cilindrice; c - asambláre cilindrică la montaj.

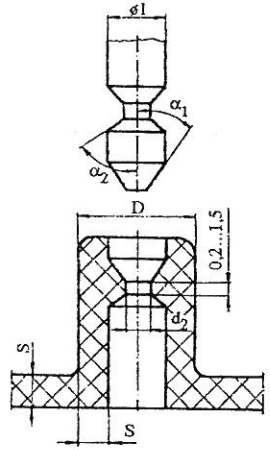


Fig.5.27. Asamblare cilindrică continuă pentru poliamidă.

În acest caz se pot calcula forța de asamblare limită F_{lim} și forța de fixare limită R_{lim} în funcție de forța de asamblare calculată F și forța de fixare calculată R

$$F_{lim} \approx 3F, \tag{5.16}$$

$$R_{lim} \approx 3R. \tag{5.17}$$

Asamblările cilindrice discontinue sunt prezentate în *fig.5.28*. Acestea au elementul interior al asamblării secționat în doi sau mai mulți segmenți. Segmenții, în timpul asamblării, sunt solicitați la încovoiere, asemănător brațelor de la asamblări prin brat.

Pentru asamblările cilindrice demontabile, forța de asamblare F și forța de fixare R pentru un segment se determină cu relațiile (5.1) și (5.2), iar forța de asamblare totală F_t și forța de fixare totală R_t, care ia în considerare numărul de segmenți, cu relațiile

$$F_t = nF, \tag{5.18}$$

$$R_t = nR, \tag{5.19}$$

unde:

- n - numărul de segmenți.

În cazul asamblărilor cilindrice discontinue nedemontabile, forța de asamblare se determină cu relația (5.18), iar forța de fixare cu relația

$$R_t = A\,\sigma_f, \tag{5.20}$$

unde:

- A - aria secțiunii porțiunii inelare;
- σ_f - limita la fluaj a materialului termoplastic.

5.2.1.3. Alte tipuri de asamblări

În afară de asamblările cu brat și cele cilindrice, frecvent întâlnite, în unele cazuri se folosesc și alte tipuri de asamblări (*fig.5.29*).

Asamblarea din *fig.5.29.a* este ușor demontabilă și folosește brațe compuse din bare drepte și curbe. Aceste brațe au secțiunea constantă pe toată lungimea lor și au capătul accesibil pentru acționare în vederea asamblării și demontării elementelor.

Articulația sferică (*fig.5.29.b*) este o asamblare nedemontabilă, fiind un caz particular al asamblării cilindrice se folosește mai rar.

Pentru fixarea prin rotire a două corpuri cilindrice se folosește asamblarea din *fig.5.29.c*, care este o asamblare cu autofixare cu brat curbat; demontarea în acest caz este mai grea decât în cazul asamblării cu brat drept datorită formei curbate a bratului.

În unele cazuri, pentru asamblarea pieselor injectate se folosește asamblarea cu torsiune (*fig.5.29.d*) care se bazează pe caracteristicile elastice ale barelor din material plastic solicitate la torsiune.

Determinarea forțelor de asamblare, de fixare, precum și a celorlalte relații de calcul a asamblării se prezintă detaliat în lucrările [15. 16].

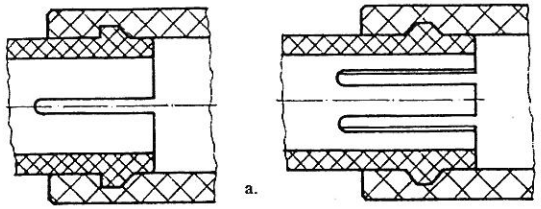


Fig.5.28. Asamblări cilindrice discontinue:
a - cu doi segmenți;
b - cu patru segmenți.

5.2.2. Asamblări prin sudură

Asamblarea prin sudură a pieselor injectate din materiale termoplastice constă în îmbinarea celor două piese aduse în stare plastifiată cu sau fără material de adaos. Asamblarea este de tip nedemontabil și după natura aportului de căldură se împarte în: sudare cu element de încălzire, sudare prin frecare, sudare cu ultrasunete [17, 18, 19].

5.2.2.1. Sudarea cu element încălzitor

Această metodă dă satisfacții în cazul asamblărilor solicitate mecanic, atunci când linia de sudură este lungă sau când forma pieselor exclude alt procedeu de asamblare.

Procedeul constă în încălzirea suprafețelor cu un element încălzitor și presarea suprafețelor plastifiate după îndepărtarea elementului încălzitor (*fig.5.30*). Principalii parametri tehnologici la sudarea cu element încălzitor sunt: temperatura elementului încălzitor T_e, timpul de încălzire t_i, timpul de manevră t_M, timpul de menținere t_m, presiunea de încălzire p_i, presiunea de sudare p_s. Sudarea cu element încălzitor se aplică pieselor injectate din diferite materiale termoplastice specific pentru fiecare material în parte (*tab.5.5*).

Pentru realizarea unei bune sudări se respectă următoarele indicații tehnologice:

- suprafața pieselor injectate ce urmează a fi sudate trebuie să fie curată, fără urme de impurități;
- temperatura elementului încălzitor nu trebuie să depășească temperatura de degradare termică a materialului termoplastic;
- presiunea de sudare determină realizarea în bune condiții a îmbinării sudate. Ea se alege în funcție de mărimea suprafeței efective ce urmează a fi sudată;

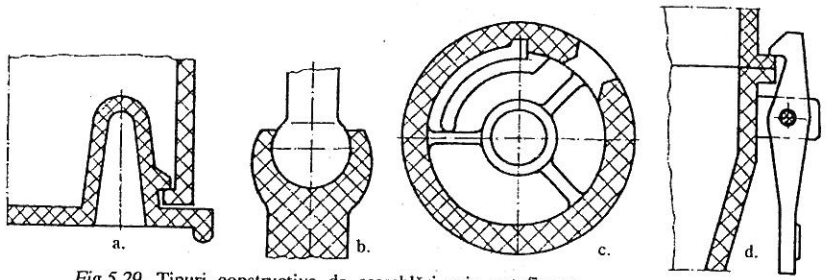


Fig.5.29. Tipuri constructive de asamblări prin autofixare:
a - cu brațe compuse; b - sferică; c - cu brațe curbe; d - cu torsiuni.

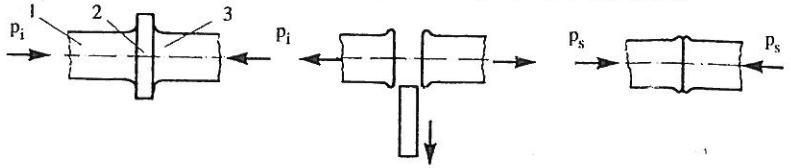


Fig.5.30. Sudarea cu element încălzitor:
1, 3 - piese injectate; 2 - element încălzitor; p_i - presiune de încălzire; p_s - presiune de sudare.

Tab.5.5. Valori orientative ale parametrilor tehnologici la sudare cu element încălzitor.

Denumirea materialului	T_e [°C]	t_i [s]	t_m [s]	p_i [N/mm²]	p_s [N/mm²]
PVC rigid	220...280	30...60	2...3	0,5...0,7	0,2...0,5
PEID	230...250	45...60	2...3	0,05	0,1...0,2
PEJD	210...230	30...55	2...3	0,05	0,05...0,2
PP	240...380	13...50	2	0,1...0,15	0,2...0,3
PA.6	230...260	15...50	2...3	0,05	0,1...0,3
POM	210...240	10...50	2...3	0,05	0,05...0,2
PS	230...250	10...50	2...3	0,05	0,2...0,4
ABS	270...300	15...50	2...3	0,05	0,1...0,2
SAN	240...300	20...50	2...3	0,05	0,1...0,3
PC	390...400	20...40	2...3	0,05	0,1...0,25

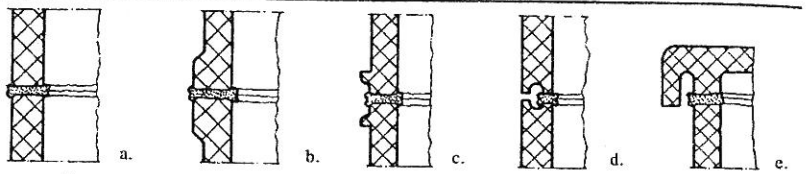


Fig.5.31. Construcții de piese injectate pentru sudarea cu element încălzitor:
a, b, c, d, e - variante constructive.

- presiunea la încălzire se alege astfel încât să nu se producă o expulzare masivă a materialului topit în zona îmbinării;
- timpul de menținere trebuie ales suficient de lung pentru a permite răcirea suficientă a îmbinării sudate;
- timpul de manevră este parametrul de utilaj și trebuie să fie mai mic de 3 secunde pentru a nu produce o răcire prea mare a suprafețelor care vor fi aduse în contact;
- rezistența îmbinării sudate crește o dată cu creșterea timpului de încălzire.

În scopul obținerii de îmbinări sudate a căror bavură să nu influențeze funcționalitatea reperelor, acestea trebuie concepute special încă din faza de proiectare. În *fig.5.31* sunt prezentate câteva configurații constructive care sunt indicate a fi utilizate în zona îmbinării.

5.2.2.2. Sudarea prin frecare

Energia necesară realizării sudurii la procesul de frecare prin sudare este obținută prin transformarea energiei de frecare dintre componentele de sudat în căldură. Schemele de principiu ale sudării prin frecare sunt prezentate în *fig.5.32.*

Procesul de sudare cuprinde următoarele faze:

- antrenarea uneia dintre componentele de sudat într-o mișcare de rotație cu viteză constantă sau variabilă și presarea pe ea a celeilalte componente, fixă, cu o forță axială;
- încălzirea capetelor componentelor, datorită celor două suprafețe în contact, sub acțiunea forței axiale; componentele sunt menținute în mișcare relativă sub acțiunea forței axiale până la atingerea temperaturii necesare sudării;
- refularea componentelor în vederea sudării lor. Refularea se poate executa

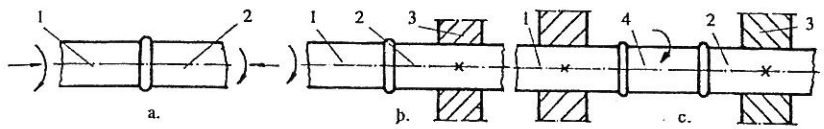


Fig.5.32. Schemele de principiu ale sudării prin frecare:
1, 2 - piese injectate; 3 - element de fixare; 4 - element intermediar;
a - sudare prin rotirea ambelor piese; b - sudare prin rotirea unei piese;
c - sudare prin rotirea unui element intermediar.

după oprirea mișcării relative sau în timpul opririi acesteia. Refularea se realizează menținând valoarea forței axiale de la încălzire sau cu o forță axială mai mare decât aceasta.

În funcție de modul cum se dezvoltă energia cinetică de frecare, sudarea prin frecare are următoarele variante:

- sudarea prin frecare continuă;
- sudarea prin frecare indirectă;
- sudarea prin frecare vibratorie;
- sudarea prin frecare cu material de adaos.

Sudarea prin frecare se aplică la sudarea cap la cap a pieselor injectate. Materialele termoplastice care se pot suda prin acest procedeu sunt: PVC, PEJD, PEÎD, PP, PA, ABS, PMMA, POM, PPO.

Sudarea prin frecare vibratorie poate fi vibratorie unghiulară sau vibratorie liniară; piesele sunt supuse la o mișcare alternant circulară sau alternant liniară cu o frecvență de circa 100 Hz. Sudarea prin frecare vibratorie permite și sudarea cuplurilor de materiale diferite conform *fig.5.33.*

În general la sudarea prin frecare se iau măsuri constructive încă din faza de concepție a pieselor injectate, astfel încât în zona de formare a îmbinării să fie favorizată producerea căldurii prin frecare. Forma constructivă a pieselor injectate la sudarea prin frecare continuă sau indirectă este prezentată în *fig.5.34.*

La sudarea prin frecare vibratorie reperele trebuie să prezinte în zona îmbinării una dintre formele indicate în *fig.5.35.*

O influență mare asupra desfășurării procesului de sudare prin frecare o are gradul de curățire a capetelor pieselor ce urmează a fi sudate. Suprafețele pieselor trebuie să fie curate, lipsite de orice fel de urme de grăsimi sau de ulei. Pentru curățire se folosesc solvenți, care însă nu trebuie să atace materialul plastic.

Parametrii regimului de sudare prin frecare sunt: viteza de mișcare relativă a

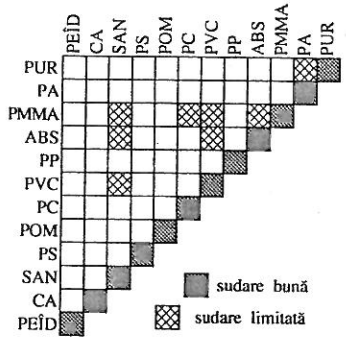


Fig.5.33. Combinații de materiale plastice care se pot suda prin frecare.

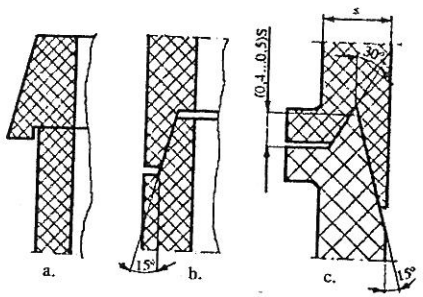


Fig.5.34. Soluții constructive pentru piesele injectate la sudarea prin frecare continuă sau indirectă: a, b, c - variante constructive.

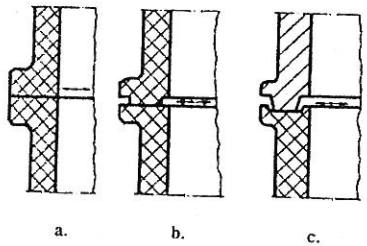


Fig.5.35. Soluții constructive pentru piesele injectate la sudarea prin frecare vibratorie: a, b, c - variante constructive.

componentelor de sudat v_r, presiunea de frecare p_i, presiunea de refulare p_s, timpul de frecare t_s, timpul de refulare t_r.

În *tab.5.6* și *tab.5.7* sunt prezentate diferite regimuri orientative la sudarea prin frecare continuă sau vibratorie.

5.2.2.3. Sudarea cu ultrasunete

Schema de principiu a sudării pieselor injectate prin ultrasunete este prezentată în *fig.5.36*. În mod convențional se consideră că sudarea materialelor termoplastice cu ultrasunete se desfășoară în două etape. În prima etapă are loc o încălzire a materialelor de îmbinat, iar în etapa a doua, între suprafețele în contact încălzite până în stare plastică, apar legături care permit obținerea îmbinării sudate.

La sudarea cu ultrasunete sursa de căldură o constituie energia oscilațiilor mecanice care sunt absorbite la suprafața de contact între sonotrod și reperul de sudat. Această absorbție a energiei oscilațiilor mecanice se datorează impedanțelor acustice ale materialului de sudat, precum și a contactului existent între reperele de sudat. Căldura se degajă ca urmare a frecării interne, precum și datorită frecării externe ce apare la suprafața de contact între piesele de sudat și între piesa de sudat și sonotrod.

Sudarea cu ultrasunete se aplică la asamblarea pieselor injectate din următoarele materiale: ABS, SAN, CA, CAB, PA, PEJD, PEÎD, PP, PET, PMMA, POM, PS, PVC.

Posibilitățile de sudare prin ultrasunete a diferitelor materiale termoplastice pot fi urmărite în *fig.5.37*.

Tab.5.6. **Regimuri orientative la procesul de sudare prin frecare continuă.**

Material	v_r [m/min]	p_i [N/mm^2]	p_s [N/mm^2]
PVC rigid	100...150	0,30...0,80	0,35...0,50
PEÎD	90...180	0,20...0,50	0,15...0,20
PEJD	90...130	0,15...0,30	0,05...0,10
PP	90...180	0,20...0,50	0,15...0,25
PA	90...130	0,15...0,25	0,15...0,25
ABS	90...100	0,08...0,15	0,10...0,20
PMMA	100...150	0,20...0,50	0,15...0,25
POM	10...25	0,60...1,0	0,05...0,10

Tab.5.7. **Regimuri orientative la sudarea vibratorie.**

Material	f [Hz]	cursa [mm]	$p_i = p_s$ [N/mm^2]	t_s [s]
PVC rigid	100	2...4	1,9...2,0	2,5...3,5
PEÎD	100	2...5	1,5...1,7	3,0...3,5
PEJD	100	2...3	1,5...1,6	2,5...3,0
PP	100	2...5	1,5...1,7	3,0...3,5
PA 6	100	3...4	1,6...1,8	3,0...3,5
ABS	100	2...4	1,7...1,9	2,5...3,5
SAN	100	2...4	1,7...1,9	2,5...3,5
PMMA	100	2...4	1,7...1,9	2,5...3,5
POM	100	2...3	1,9...2,0	3,0...4,0
PPO	100	2...3	1,9...2,0	3,0...4,0

La sudarea cu ultrasunete trebuiesc respectate o serie de parametri tehnologici dintre care cei mai importanți sunt:

- *puterea electrică și acustică* a echipamentului de sudat, care este dependentă de duritatea și grosimea materialelor de sudat;
- *forța de sudare* care asigură transmiterea oscilațiilor ultrasonice în zona îmbinării;
- *timpul de sudare* reprezintă durata de transmitere a energiei ultrasonice până la atingerea rezistenței maxime a îmbinării sudate. Timpul de sudare crește o dată cu cu creșterea grosimii reperelor de sudat și cu scăderea puterii acustice. La sudarea materialelor termoplastice, timpul de sudare se situează în mod obișnuit în domeniul t_s = 0,05...6 secunde.
- *timpul de menținere* reprezintă timpul în care reperele sudate, după oprirea inroducerii de energie acustică în acestea, sunt menținute sub presiune în scopul răcirii zonei sudate;
- *frecvența oscilațiilor ultrasonice*. Valoarea optimă a frecvenței în cazul sudării materialelor termoplastice este de 18...40 Hz.
- *amplitudinea oscilațiilor ultrasonice*. În general, amplitudinea oscilațiilor se alege în funcție de materialul plastic ce urmează a fi sudat (*tab.5.8*).

La sudarea cu ultrasunete a materialelor termoplastice rezistența îmbinării este determinată de forma și geometria zonelor de contact ale reperelor de sudat. Proiectarea

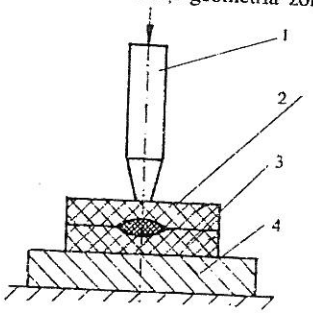


Fig.5.36. Principiul sudării cu ultrasunete a materialelor termoplastice: 1 - bloc ultrasonic; 2, 3 - piese pentru sudură; 4 - dispozitiv de fixare și poziționare.

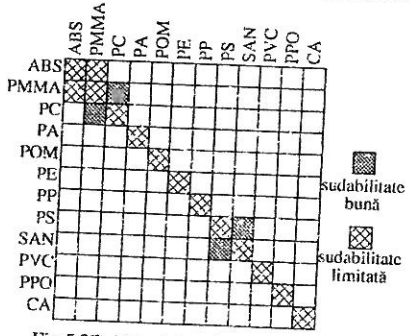


Fig.5.37. Materiale plastice care se pot suda prin ultrasunete.

Tab.5.8. Amplitudinea oscilaţilor la sudarea cu ultrasunete a materialelor termoplastice.

Material	Amplitudinea [μm]	Material	Amplitudinea [μm]
PS	15...30	PA	35...55
ABS	20...30	PET	45...55
SAN	15...30	CA	25...35
PMMA	20...35	PVC-P	20...40
PPO	25...40	PVC-M	25...40
PC	25...40	PE	25...60
POM	40...50	PP	30...60

corespunzătoare a configuraţiilor pieselor ce se sudează trebuie să respecte următoarele recomandări:

- suprafeţele reperelor în contact trebuie să fie cât mai mici, în scopul obţinerii unei concentrări de energie cât mai mari, pentru a se obţine o topire a reperelor în zona sudurii;
- se prevede un joc relativ mare prin care unul dintre repere, de preferat cel care vine în contact cu sonotrodul, să aibă posibilitatea de a vibra liber pe celălalt pentru a fi posibilă degajarea de căldură prin frecare;
- în zona îmbinării trebuie prevăzută o zonă liberă care să permită pătrunderea materialului plastic topit în procesul de sudare;
- zona de contact a sonotrodului cu piesa trebuie să fie suficient de mare pentru a introduce în piesă o cantitate corespunzătoare de energie acustică. Reperele de sudat se prevăd cu concentratori de energie. La materialele greu sudabile este necesar ca concentratorul să se amplaseze pe reperul aflat în contact cu sonotrodul. La materialele

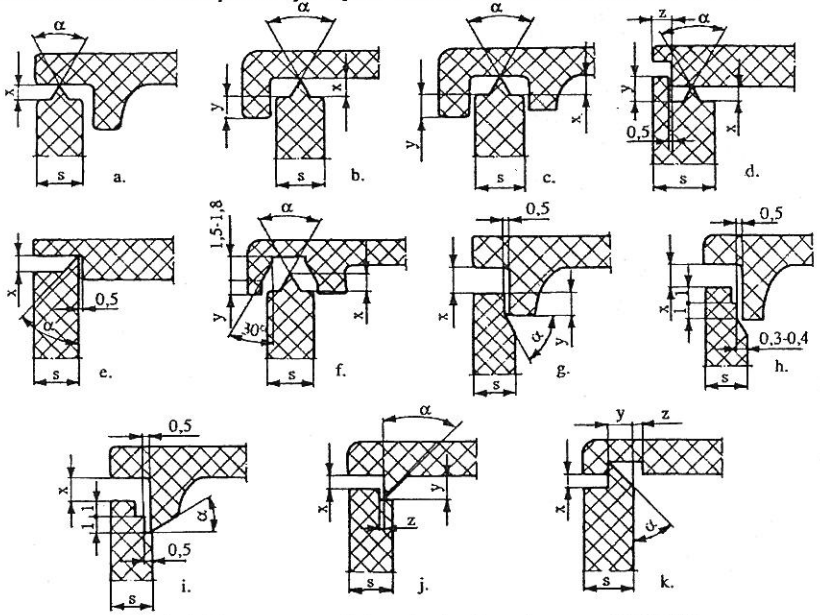


Fig.5.38. Forma constructivă a pieselor la sudarea cu ultrasunete:
a...k - variante constructive.

Tab.5.9. Dimensiunile geometrice ale concentratorilor la sudarea cu ultrasunete.

Fig.5.40	Dimensiuni s [mm]	α [grad]	x [mm]	y [mm]	z [mm]	Observaţii
a	1...3,5	60...90	0,5...1	-	-	Materiale similare: POM
b	1...3,5	60...90	0,5...1	>1	-	Materiale similare: POM
c	1...3,5	60...90	0,5...1	>1	-	Materiale similare: POM
d	0,8...2,5	60	a/S	S/3	S/3	Materiale similare: ABS, PC
e	1,2...3,5	45	0,2...0,8	S	-	Materiale similare: PA, ABS, SAN
f	1...3,5	60...90	0,3...0,5	>1	-	Materiale similare: POM
g	1...3,5	60...70	1,2	1	-	Materiale similare: POM
h	1...3,5	-	1,2	-	-	Materiale similare: POM
i	1...3,5	30...45	1	-	-	Materiale similare: POM
j	1,2...3,2	45	0,2...0,8	S	-	Materiale similare
k	2	45	S/4	S/2	S/10	Materiale disimilare: PMMA+ABS

diferite concentratorul se amplasează pe materialul cel mai dur.

În literatura de specialitate [11, 17, 18, 19] se utilizează o gamă largă de concentratori cu recomandări dimensionale. În *fig.5.38* se prezintă soluţii constructive la sudarea prin ultrasunete a materialelor termoplastice.

În *tab.5.9* se dau dimensiunile geometrice recomandate pentru diferite piese injectate ce se sudează cu ultrasunete.

5.2.3. Asamblări prin nituire

Piesele din material termoplastic pot fi asamblate nedemontabil cu ajutorul niturilor. Se folosesc nituri din metal şi material plastic.

Asamblarea pieselor injectate prin nituri metalice prezintă avantajul unei rezistenţe mărite a îmbinării, dar prezintă inconveniente la formarea capului de închidere. Se preferă niturile din aliaje de aluminiu cu corp tubular (*fig.5.39*).

Pentru evitarea inconvenientelor legate de formarea capului nitului tubular şi pentru creşterea rezistenţei asamblării prin nituri tubulare se foloseşte spre partea capului de închidere o şaibă metalică.

Niturile din material plastic se deformează la sarcini mai mici dar au avantajul rezistenţei la coroziune şi a realizării mai facile. În general nitul din material plastic face parte din piesa realizată prin injectare.

Formarea capului nitului se poate face la rece cu o buterolă, operaţia fiind rapidă, dar asamblarea este sensibilă la fluctuaţiile de temperatură şi are o rezistenţă mecanică relativ mică. În cazul asamblării se impun anumite condiţii dimensionale între diametrul şi lungimea corpului nitului. Formarea capului nitului din material plastic la asamblarea a două piese se poate face şi la cald. Capul nitului în acest caz este mai puţin sensibil la variaţiile de temperatură necontractându-se, iar asamblarea realizată rezistă la încărcări mai mari decât la asamblarea realizată cu capul nitului format la rece. Această asamblare are inconvenientul de a se realiza într-un timp mai lung decât asamblarea la rece. Formarea la cald a capului nitului se realizează prin încălzirea capului nitului cu o buterolă încălzită şi dacă este posibil trebuie folosită temperatura reziduală a piesei injectate imediat după scoaterea din matriţă. Temperatura de refulare a capului se recomandă să fie cu 10...20°C superioară temperaturii de folosire prevăzute.

Formarea capului nitului se poate realiza şi cu ajutorul vibraţiilor prin ultrasunete.

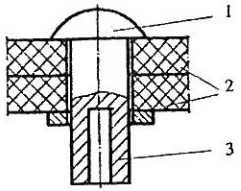
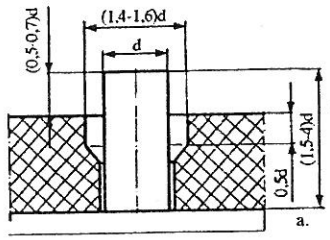


Fig.5.39. Asamblare prin nituire cu nit metalic tubular:
1 - nit metalic; 2 - piese injectate pentru asamblare; 3 - șaibă.



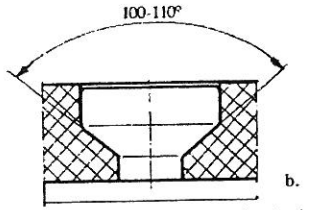


Fig.5.41. Asamblarea a două piese injectate prin nit din material plastic:
a - asamblare înainte de nituire;
b - asamblare după nituire.

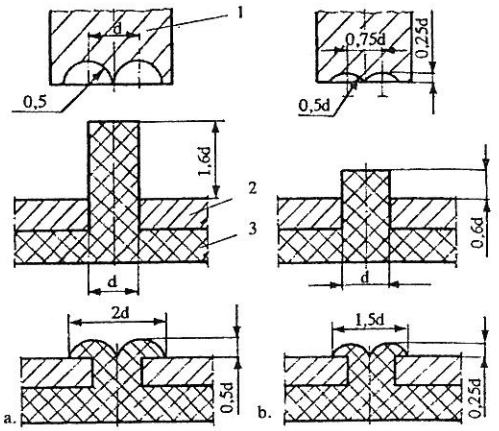


Fig.5.40. Dimensiuni și forme pentru niturile din materiale plastice care se asamblează prin ultrasunete:
a - forma standard; b - forma joasă; 1 - sonotrod;
2 - piesă din metal sau material plastic;
3 - piesă din material plastic.

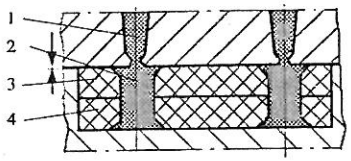


Fig.5.42. Asamblare cu nituri prin injectare directă:
1 - rețeaua de injectare;
2 - nit obținut prin injectare;
3, 4 - piese injectate anterior în alte matrițe.

Această asamblare prezintă puține tensiuni interne și permite o încărcare mecanică ridicată. Realizarea asamblării prin formarea capului nitului cu ultrasunete presupune însă o mașină de sudat cu ultrasunete (*fig.5.40*). Foarte bune rezultate pot fi obținute la formarea capului nitului cu cap îngropat dacă se folosesc indicațiile din *fig.5.41*.

O altă soluție de realizare a asamblării prin nituire este prin injectare directă. Această asamblare este superioară tuturor celorlate tipuri de asamblare prin rezistența mecanică ridicată. Piesele, injectate anterior separat, sunt plasate ambele într-o matriță de injectat, pentru ca apoi nitul să se injecteze în găurile corespunzătoare fin cele două piese. *Fig.5.42* ilustrează acest procedeu tehnologic.

5.2.4. Asamblări prin lipire

Asamblările prin lipire a pieselor injectate sunt îmbinări nedemontabile care au largă răspândire ca urmare a avantajelor următoare:

- rezistență mecanică ridicată a lipiturii;
- realizare simplă și ieftină.

Aceste avantaje sunt limitate ca urmare a unor dezavantaje:

- durate lungi de evaporare a solvenților;
- manipularea uneori periculoasă a solvenților;
- durata de depozitare a unor adezivi este limitată;
- solvenții sau adezivii sunt uneori toxici.

Asamblarea prin lipire se realizează cu ajutorul solvenților, adezivilor în soluție, adezivilor de polimerizare.

Solvenții dizolvă materialele care se asamblează, realizând legături structurale având o rezistență de 100% în raport cu rezistența materialelor de îmbinat.

Adezivii în soluție reprezintă adezivii obținuți prin dizolvarea materialului termoplastic într-o soluție, același material ca și cel supus îmbinării.

Adezivii de polimerizare se întăresc, la asamblarea pieselor, pe baza acceleratorului, a căldurii sau a luminii. Inițierea polimerizării se face pe baza unui component introdus în receptura adezivului înaintea aplicării acestuia.

Indiferent de procedeul folosit, piesele injectate ce trebuiesc asamblate trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- se realizează pregătirea suprafețelor de îmbinat (se curăță cu solvenți de curățire);
- aplicarea solventului sau a adezivului:
- uscarea;
- îmbinarea pieselor prin suprapunere și apăsare.

Gradul de curățire al suprafețelor, temperatura și durata de întărire sunt parametri care determină calitatea unei îmbinări. Solventul se aplică pe suprafețele de îmbinat cu siringa, cu pensula, cu o țesătură. De asemenea piesele de îmbinat pot fi imersate în solvent. Adezivii se aplică cu ajutorul unei pensule sau cu ajutorul unor flacoane speciale cu picurător.

În vederea asamblării prin lipire piesele injectate au o anumită formă constructivă care favorizează îmbinarea (*fig.5.43*). În *tab.5.10* se fac recomandări pentru lipirea materialelor termoplastice. Dizolvanți pentru diferitele materiale plastice sunt prezentați pentru fiecare material plastic în cap. 1.

5.2.5. Asamblări prin filet

Folosirea din ce în ce mai largă a pieselor injectate din materiale termoplastice a determinat folosirea cu rezultate foarte bune a asamblărilor filetate, asamblări de tip demontabil [18, 21, 22, 24, 25]. Asamblările filetate folosite pentru piesele din materiale

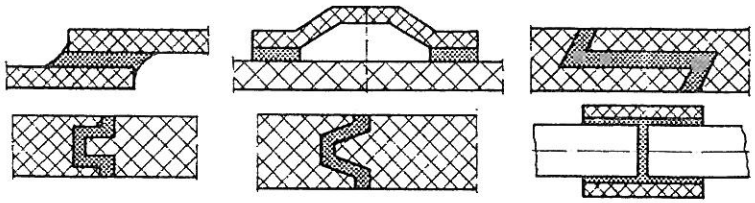


Fig.5.43. Forme constructive la asmablarea pieselor injectate prin lipire.

Tab.5.10. Lipirea materialelor termoplastice.

Materiale	POM	CA	CAB	PA	PC	PS	PVC plastifiat	PVC rigid
Poliacetali	E,R	R,E	R,E	E,R	E,R	E,R	S,B,R	B
Acetat de celuloză	R,E	S,B	B	R,E	B,R	R	R	E
Acetobutirat de celuloză	R,E	B	B	R,E	B,R	E,R	R	E,R
Poliamide	E,R	R	R	S,B	R,E	R	R	R
Policarbonat	E,R	E,R	E,R	E,R	S,E,R	E,B	R,E	E,R
Poliester	E,R	E	E	E	E	E	E	E
Polistiren	E,R	R	R	R,B	R,B	R	R,B	R,B
PVC plastifiat	B	B	BR	RE	B	R,E	SRE	S
PVC rigid	B	RB	B	BR	B,R	B,R	BRS	SB

LEGENDĂ: *B - legătură cu adeziv care conține rășină termoplastică cu solvenți sau anumiți plastifianți care se evaporă prin uscare; E - 100% adezivi reactivi cu catalizatori; M - cimentare cu monomeri, în general cu catalizator; R - adezivi elastomeri pe bază de cauciuc sintetic sau natural, se usucă la temperatura ambiantă sau ridicată; S - cimentare cu solvent care dizolvă materialul plastic, apoi se evaporă.*

plastice pot fi: șurub și piuliță din metal, șurub din metal în inserție metalică în piesă injectată, șuruburi metalice autofiletante, șuruburi din material plastic, etc.

5.2.5.1. Șuruburi și piulițe din metal

Asamblarea pieselor injectate din materiale termoplastice cu ajutorul asamblării șurub - piuliță din metal se folosește în cazul unor piese de dimensiuni mari unde apar solicitări deosebite. În acest caz sub piuliță și sub capul șurubului se folosesc saibe metalice sau inele metalice comune. Folosirea unui inel metalic comun pentru toate suruburile (*fig.5.44*) reduce presiunea superficială, dar prezintă inconveniente la asamblările supuse la fluctuații de temperatură. Folosirea șaibelor Grover și a șaibelor dințate în cazul asamblărilor cu șurub și piuliță metalică introduc riscurile apariției unor concentratori ce pot determina fisurări în piesa injectată.

5.2.5.2. Șuruburi și inserții din metal

Asamblarea a două piese injectate se poate realiza prin intermediul unui șurub metalic și a unei inserții metalice introdusă în piesa injectată (*fig.5.45*).

Folosirea inserțiilor în cazul asamblărilor filetate se folosește numai atunci când este necesar, datorită următoarelor considerente:

- fiecare introducere de piesă metalică într-o matriță de injectat mărește durata ciclului de injectare;
- mașina nu lucrează în ciclu automat, fiind necesar un operator pentru introducerea inserților;
- inserțiile metalice nu permit contracții, introducând tensiuni în piesa injectată, tensiuni care pot duce la fisurări.

Există mai multe tipuri constructive de inserții metalice (*fig.5.46*). Inserțiile metalice trebuie să se blocheze în piesa injectată pentru a se evita rotațiile și posibilitatea

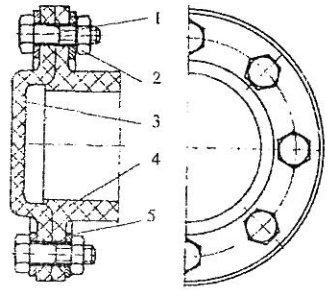


Fig.5.44. Asamblare cu șurub și piuliță din metal:
1 - șurub; 2 - piuliță; 3, 4 - piese injectate; 5 - inel metalic.

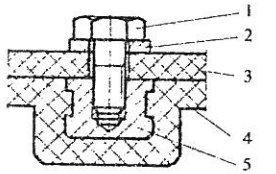


Fig.5.45. Asamblare a două piese injectate prin șurub și inserție metalică:
1 - șurub metalic; 2 - șaibă; 3 - piesă injectată; 4 - piesă injectată cu inserție; 5 - inserție metalică.

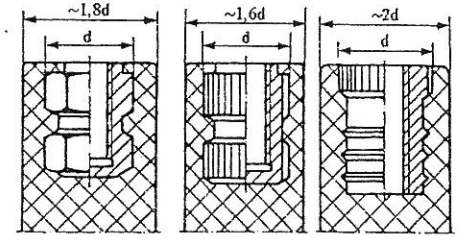


Fig.5.46. Inserții metalice filetate:
a, b - inserții introduse la injectare;
c - inserție expandabilă introdusă forțat.

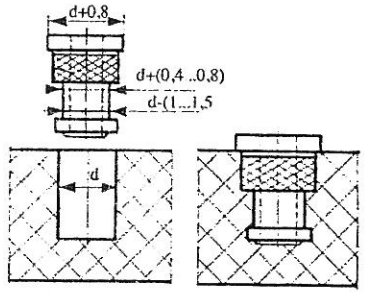


Fig.5.47. Introducerea prin ultrasunete unei inserții metalice filetate în piesa injectată.

de extracție axială. Ele sunt astfel concepute încât forma exterioară poate fi hexagonală, moletată drept, moletată încrucișat, nervurată inelar, cu pereți despicați. Inserțiile se confecționează din alamă, din oțel nichelat sau cadmiat, din aluminiu pentru rezistență la oxidări și coroziune.

Inserțiile metalice introduse în matriță la injectare trebuie să aibă capătul închis pentru a nu se produce scurgeri de material plastic în zona filetată. Masa piesei metalice trebuie să fie cât mai mică posibil, pentru a se evita o răcire intensă a materialului plastic injectat. În cazurile dificile sau la exigențe severe se recomandă folosirea pieselor metalice preîncălzite la o temperatură cât mai ridicată posibil.

Inserțiile metalice introduse ulterior conduc la soluții tehnice superioare. Astfel inserțiile se pot introduce prin ultrasunete (*fig.5.46.c, d*). Dimensiunile găurii din piesa injectată pentru a introduce inserțiile prin ultrasunete sunt date în *fig.5.47.*

Inserțiile metalice introduse forțat cu mâna în gaura realizată în piesa injectată sunt avantajoase din punct de vedere al costului scăzut (*fig.5.46.e*). Diferența între diametrul inserției și diametrul găurii este de aproximativ 0,1 mm. Numărul de nervuri inelare recomandate este de 3 cu înălțime de 0,4 mm. Asamblarea între inserție și gaură din piesa injectată se realizează ca urmare a deformării pereților inserției în urma înfiletării șurubului în gaură filetată conică a inserției.

Inserțiile metalice sunt solicitate la tracțiune și torsiune, sarcini constante sau variabile, pe perioade lungi de timp în timpul exploatării.

Sarcinile limită, pentru diferite soluții constructive de inserții sunt oferite în lucrările de specialitate [18].

5.2.5.3. Şuruburi autofiletante din metal

Şuruburile autofiletante sunt înşurubate fără a rezulta span, în orificii netede, formându-şi singure filetul. Şuruburile autofiletante sunt şuruburile din tablă sau şuruburi de construcţie specială (*fig.5.48*) [20, 30, 37].

Şuruburile speciale pentru mase plastice pot fi:

- şuruburi tip EJOT care au unghiul spirei ascuţit (30°) şi miezul canelat;
- şuruburi tip HI-LO care prezintă două spire, diametrul exterior al celei de-a doua spire fiind mai mic şi contribuind în esenţă numai la centrare.

Şuruburile speciale pentru mase plastice prezintă mai multe avantaje [20]:

- necesită un moment de înşurubare mai mic;
- rezistenţă de îmbinare mai mare;
- posibilitatea mai multor montaje.

Piesele injectate au pereţi subţiri şi de aceea, pentru a realiza asamblarea cu ajutorul şuruburilor autofiletante se prevăd în piesa injectată bosaje. Gaura din bosaj pentru introducerea şurubului se determină în practică pentru diferite materiale plastice la o dimensiune limită inferioară. În *fig.5.49* şi *tab.5.11* se dau câteva recomandări constructive pentru bosajele din piesele injectate pentru şuruburile autofiletante [36].

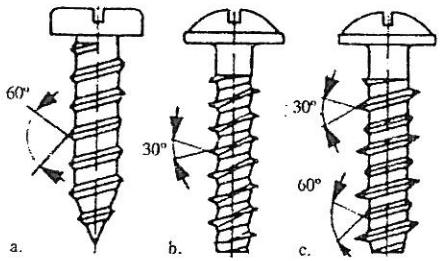


Fig.5.48. Şuruburi autofiletante:
a - şurub pentru tablă; b - şurub EJOT;
c - şurub HI-LO.

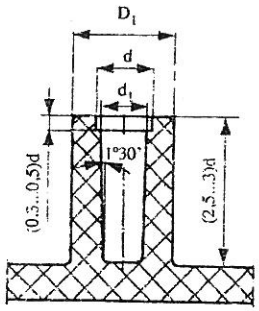


Fig.5.49. Dimensiuni constructive la bosajele pentru şuruburile autofiletante:
d - diametrul nominal al şurubului.

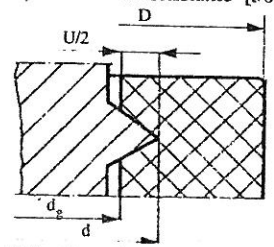


Fig.5.50. Dimensiuni de calcul pentru asamblarea cu şurub autofiletant.

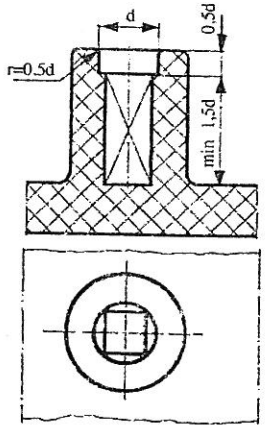


Fig.5.51. Soluţie constructivă pentru gaura şurubului autofiletant.

Tab.5.11. Dimensiuni constructive pentru bosajele pieselor injectate.

Material	d_1	D_1	Înălţimea minimă de înşurubare
PP	0,70d	2,00d	2,00d
POM	0,75d	1,95d	2,00d
PET	0,75d	1,85d	1,70d
PBT	0,75d	1,85d	1,70d
PA 6.6	0,75d	1,85d	1,70d
SAN	0,77d	2,00d	1,90d
ABS	0,80d	2,00d	2,00d
PET cu 30%FS	0,80d	1,80d	1,70d
PA cu 30% FS	0,80d	1,80d	1,70d
PS	0,80d	2,00d	2,00d
PC	0,85d	2,50d	2,20d
PPO	0,85d	2,50d	2,20d

La montarea unui şurub autofiletant într-un material mai elastic, ca de exemplu polietilena de înaltă densitate, materialul înlăturat de spira filetului se deplasează în cea mai mare parte prin deformare plastică în spaţiul dintre spire. Materialele plastice mai rigide se lasă deformate plastic foarte puţin şi în unele cazuri pot apărea fisuri în peretele găurii. De aceea pentru fiecare material în parte se determină limita inferioară a diametrului găurii, folosind metoda Brinell [20].

Rezistenţa de îmbinare cu şuruburi autofiletante este determinată de forţa de extracţie pe epruvete din material plastic. Forţa de extracţie F poate fi calculată cu o precizie destul de bună cu relaţia

$$F \approx 0{,}07\,G \cdot d \cdot h\,, \tag{5.21}$$

unde:

- G - modulul de elsticitate;
- d - diametrul exterior al şurubului;
- h - înălţimea găurii şurubului.

Dimensiunea limită a găurii U pentru un şurub conform *fig.5.50* se determină cu relaţia

$$U = \frac{\omega\, d}{H_k}\,, \tag{5.22}$$

unde:

- ω - presiunea specifică de apăsare;
- H_k - duritatea materialului plastic determinată analog metodei Brinell.

Încercările au arătat că pentru şuruburi autofiletante cu mare adâncime de filet, o presiune specifică de apăsare $\omega = 12\text{N/mm}^2$ limitează tensiunile perimetrice ce iau naştere în bosaj.

Valoarea lui H_k se determină din *tab.5.12* pentru diferite materiale termoplastice.

Diametrul exterior D al bosajului şurubului se determină cu relaţia

$$D \geq \sqrt{\frac{0{,}13\,G d h}{\sigma_t}} + d_g\,, \tag{5.23}$$

unde:

- σ_t - rezistenţa la tracţiune;
- d_g - diametrul găurii şurubului.

Pentru montarea şuruburilor autofiletante în materiale plastice trebuie să se respecte relaţia

$$M_a = M_f + M_p < M_e\,, \tag{5.24}$$

unde:

- M_a - momentul de strângere admis;

- M_e - momentul de strângere excesivă;
- M_f - momentul de înşurubare liberă;
- M_p - momentul de pretensionare.

Momentul de înşurubare excesivă reprezintă limita absolută de deteriorare. Momentele de înşurubare se pot măsura pentru diferite şuruburi şi diferite materiale plastice la diferite adâncimi şi se pot prezenta în grafice [20...36]. Atunci când asamblarea este supusă la vibraţii, slăbirea şurubului trebuie împiedicată. În acest scop se folosesc şuruburile cu secţiune filetată triunghiulară [36]. O altă soluţie, mai simplă, este prezentată în *fig.5.51*.

Tab.5.12. Valori orientative ale coeficientului H_k şi ale modulului de elasticitate pentru diferite materiale termoplastice, folosind şuruburi de tablă şi şuruburi HI-LO.

Denumire	d [mm]	Simbol	Denumire comercială	Modul de elesticitate [N/mm²]	Duritatea H_k [N/mm²]
Şurub de tablă	3.9	PEJD	Lupolen 3050 K	400	30
	3.9	PEÎD	Lupolen 5261 Z	750	50
	4.8	PEÎD	Lupolen 5261 Z	750	50
	3.9	ABS	Terluran 848 S	950	130
	4.8	POM	Ultraform N 2200	1000	140
	5.5	POM	Ultraform N 2200	1000	140
	3.9	PVC rigid	Vinoflex 516	1100	140
	3.9	PAC	Ultramid B3K	1100	140
	3.9	PAC+FS	Ultramid B3 W65	1200	150
	4.8	PAC+FS	Ultramid B3 WG5	1200	150
	4.8	SAN	Luran 368R	1350	180
	5.5	SAN	Luran 368R	1350	180
Şurub HI-LO	3.9	PEÎD	Lupolen 52612	750	50
	5.8	PEÎD	Lupolen 52612	750	50
	3.9	PVC rigid	Vinoflex 516	1100	140
	3.9	PA 6	Ultramid B3K	1100	140
	3.9	SAN	Luran 368R	1350	180

5.2.5.4. Filete interioare în piese injectate

În piesele injectate din material plastic se pot înfileta şuruburi metalice sau din material plastic. Este foarte convenabil ca filetul din piesa injectată să se realizeze direct în matriţă. Este posibil ca filetul să fie realizat în matriţă cu ajutorul unor miezuri rotitoare filetate, cu ajutorul unor inserţii metalice, cu ajutorul unor miezuri filetate şi aruncarea forţată a piesei injectate şi cu filet întrerupt cu miezuri secţionate (*fig.5.52.c*).

Datorită faptului că muchiile ascuţite ale filetului provoacă concentratori de tensiune, se recomandă filetele cu muchii rotunjite. Se recomandă de asemenea ca filetul să se oprească înainte de a ajunge la fundul piesei injectate pentru a nu determina un concentrator de tensiune (*fig.5.52.a, b*).

În cazul în care filetul găurii se realizează cu ajutorul miezurilor rotitoare se recomandă alegerea unui număr minim de spire pentru simplificarea constructivă a matriţei şi reducerea ciclului de injectare.

În cazul pieselor injectate din polietilenă de joasă densitate, filetul poate fi realizat pe ponsoane fixe, iar piesa injectată este scoasă de pe poanson prin aruncare forţată. În acest caz, datorită elasticităţii materialului este posibilă deformarea filetului piesei injectate şi trecerea forţată peste spirele poansonului; se recomandă o rotunjire atentă a muchiilor filetului şi un număr redus de spire pentru piesa injectată (1...3 spire).

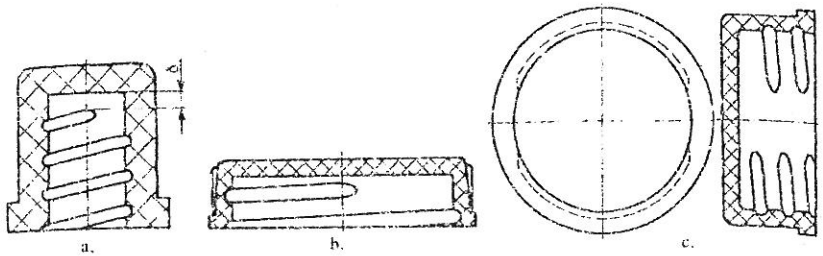


Fig.5.52. Filete obţinute direct în matriţă:
a - gaură filetată cu multe spire; b - gaură filetată cu 1,5 spire;
c - gaură filetată cu filet discontinuu; δ - distanţa de la filet la fundul piesei (δ = 1...2mm).

Două piese injectate pot fi asamblate cu ajutorul unui şurub metalic (*fig.5.53*). În acest caz, găurile filetate se realizează direct în matriţă cu miezuri rotitoare sau cu ajutorul unor inserţii ce se defiletează după scoaterea piesei din matriţă. Filetul găurii piesei este corespunzător cu filetul şurubului metalic.

5.2.5.5. Filete exterioare în piese injectate şi şuruburi din material plastic

Rezistenţa mecanică a şuruburilor din material plastic este inferioară celor metalice, dar la sarcini reduse ele prezintă avantajul rezistenţei ridicate la coroziune, coeficient de frecare redus, proprietăţi de izolator termic şi electric. Apariţia unor material plastice cu rezistenţă mecanică ridicată (Hostaform, Technyl) a determinat execuţia prin injectare a diferite tipuri de şuruburi (*fig.5.54*).

Rezistenţa mecanică a şuruburilor din materiale plastice este determinată şi de corectitudinea respectării parametrilor la injectare. Astfel, apariţia unor goluri interioare (bule, sufluri) determină scăderea drastică a rezistenţei mecanice.

Filetele exterioare la piesele injectate pot fi realizate direct în matriţă în mai multe moduri:

- direct în planul de separaţie al matriţei sau prin bacuri;
- folosind bucşe rotitoare;
- realizarea filetului întrerupt în planul de separaţie al matriţei sau folosind bacuri.

Cazul cel mai frecvent de obţinere a filetelor exterioare, cel al şuruburilor, este obţinerea filetelor în planul de separaţie al matriţei. Foarte important este în acest caz

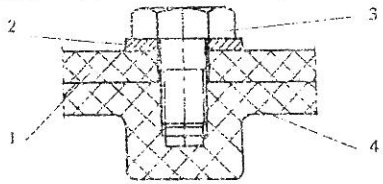


Fig.5.53. Asamblarea a două piese injectate cu şurub metalic:
1 - piesă injectată; 2 - şaibă metalică;
3 - şurub metalic; 4 - piesă injectată.

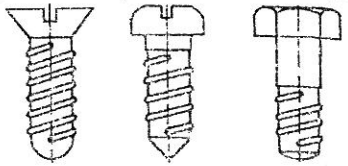


Fig.5.54. Şuruburi injectate din material plastic.

centrarea matriței pentru asigurarea continuității filetului și perfecta închidere a matriței pentru a împiedica apariția bavurilor. Existența bavurilor și alunecări în planul de separație al matriței determină obținerea de filete necorespunzătoare calitativ.

Șuruburile se găsesc mai rar sub acțiunea unor forțe statice, foarte frecvent sunt solicitate la oboseală de către forțe dinamice. Pentru calcul se consideră ansamblul șurub - piesă filetată (filet triunghiular) la o piesă injectată (*fig.5.55*). Solicitările principale care intervin sunt [21]:

- de tracțiune sau de compresie în șurub;
- de strivire a filetului;
- încovoiere și forfecare a filetului.

Solicitarea șurubului la tracțiune sau compresie. Această solicitare se raportează la secțiunea plină a șurubului cu diametrul d_1

$$\sigma_{t,c} = \frac{4P}{\pi d_1^2} \leq \sigma_{at,c}, \tag{5.25}$$

unde:

- P - forța axială;
- d_1 - diametrul interior al șurubului;
- $\sigma_{at,c}$ - rezistența admisibilă la tracțiune, respectiv compresie.

Solicitarea filetului la strivire. Efortul unitar de strivire reală p^* a filetului se exprimă prin relația

$$p^* = \frac{P}{\pi d_2 H z} \leq p_a^*, \tag{5.26}$$

unde:

- P - forța axială;
- d_2 - diametrul mediu;
- H - înălțimea reală de contact a spirelor;
- z - numărul de spire al filetului;
- p_a^* - presiunea admisibilă de contact.

Solicitarea filetului la încovoiere și forfecare. Efortul unitar de încovoiere este dat de relația

$$\sigma_i = \frac{6P\left(\frac{H}{2} + a\right)}{\pi z d_1 h^2} \leq \sigma_{ai}, \tag{5.27}$$

unde:

- h - înălțimea secțiunii de rupere;
- a - jocul la fund al filetului.

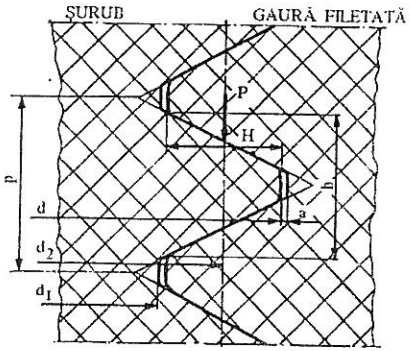


Fig.5.55. Caracteristici principale ale filetului triunghiular din material plastic.

Efortul unitar de forfecare este dat de relația

$$\tau_f = \frac{P}{\pi z d_1 h} \leq \tau_{af}. \tag{5.28}$$

Pentru filetul pătrat solicitarea de încovoiere are expresia

$$\sigma_i = \frac{6P}{\pi z d_1 p} \leq \sigma_{ai}, \tag{5.29}$$

unde:

- p - pasul filetului.

5.2.6. Lagăre

Lagărele din material plastic sunt organe de mașini pe care se reazemă fusurile. Prin intermediul suprafețelor de alunecare, ele preiau forțele radiale, axiale sau combinate ale arborelui permițând mișcările de rotație.

5.2.6.1. Fenomene la lagărele din material plastic

La studiul lagărelor din materiale plastice, în plus față de lagărele metalice, se ține cont de faptul că rezistența lor mecanică este mai mică și deformația lor elastică este mai mare [23]. Utilizarea materialelor plastice în construcția lagărelor s-a datorat, în mare parte, însușirilor favorabile pe care le posedă, iar pe de altă parte posibilităților tehnice de producere în cantități industriale și la prețuri avantajoase. Procedeul de injectare furnizează majoritatea pieselor care se folosesc ca lagăre. Dintre materialele termoplastice cele mai folosite în construcția lagărelor sunt: poliamidele, politetrafluoretilenele, poliformaldehidele.

Avantajele pe care le prezintă lagărele din materiale plastice sunt următoarele:

- au un coeficient de frecare redus;
- au rezistență mare la uzură și deci o durată mare de serviciu;
- nu produc gripări atunci când temperatura pieselor în frecare depășește limita admisibilă;
- au elasticitate mare și capacitate de lucru ridicată la solicitări dinamice;
- au sensibilitate mică față de corpurile străine care sunt înglobate în materialul lagărului neprovocând uzuri pe suprafața fusului, așa cum se întâmplă la lagărele din materiale dure;
- simplificarea ungerii, funcționând cu ungere cu ulei, cu unsoare consistentă, apă sau chiar fără ungere.

Dintre avantajele enumerate, primele două (coeficientul de frecare și rezistența la uzură) sunt însușiri prețioase și în același timp hotărâtoare în folosirea materialelor plastice la construcția lagărelor. Comportarea tribologică a materialelor plastice este studiată în cap. 1.2.2.2.

Dezavantajele lagărelor din materiale plastice sunt [21]:

- rezistența scăzută și variația puternică a acesteia cu temperatura;
- deformabilitate mare sub sarcină datorită coeficientului de elasticitate redus;
- coeficient ridicat de dilatație termică;
- conductivitate termică redusă;

- higroscopicitate și tendință de umflare care, conjugată cu dilatația termică, duce la instabilitate dimensională;
- puternică dependență a proprietăților de structura rezultată din componența chimică și din tehnologie.

Avantajele sunt însă atât de importante încât s-au căutat și obținut soluții pentru îmbunătățirea comportării lor atât din punct de vedere constructiv-tehnologic cât și în exploatare.

Prin soluțiile constructiv-tehnologice s-au realizat:
- jocuri relativ mari la bucșe groase;
- bucșe subțiri,
- adaosuri ameliorative care micșorează coeficientul de frecare (grafit, bisulfură de molibden) și coeficientul de dilatare termică;
- armarea cu fibre metalice și nemetalice (cupru, carbon, sticlă).

Prin soluțiile de exploatare s-a reușit:
- limitarea temperaturii sub aceea la care scad prea mult proprietățile mecanice;
- răcirea lubrifiantului în circulație, când aceasta se impune;
- limitarea încărcărilor specifice, respectiv stricta coordonare a lor cu viteza.

Coeficientul de frecare. Folosirea materialelor termoplastice în construcția lagărelor s-a datorat în primul rând însușirilor antifricțiune foarte bune. Dacă în materialele plastice pentru lagăre se încorporează substanțe lubrifiante ca: bisulfură de molibden, grafit, etc. în anumite proporții, atunci valoarea coeficientului de frecare se reduce într-o măsură mai mare (*tab.5.13*). Coeficientul de frecare scade pe măsură ce crește încărcarea specifică și are valori minime în cazul ruperii lagărului. În afară de încărcarea specifică, natura frecării și a lubrifiantului, valoarea coeficientului de frecare este influențată și de alți factori: viteza de alunecare, temperatura și rugozitatea suprafeței fusului (*tab.5.14*).

O particularitate a lagărelor din material plastic este aceea că rodajul lor nu apare ca o fază distinctă, care să preceadă perioadei de exploatare, așa cum este cazul lagărelor metalice, ci la oricare punere în lucru a lagărului are loc o scurtă perioadă de rodaj, când coeficientul de frecare are valori ridicate, ca apoi să scadă la valoarea sa normală. Când suprafețele s-au păsuit bine, coeficientul de frecare capătă o valoare stabilizată.

Rezistența la uzură. Obținerea unor rezultate satisfăcătoare asupra lagărelor din materiale plastice pe timpul exploatării este condiționată de doi factori principali:
- calitatea suprafețelor de alunecare a fusului și a lagărului;
- duritatea fusului.

Pentru ca lagărul și fusul să aibă uzuri minime este necesar ca suprafețele fusurilor

Tab.5.13. Coeficientul de frecare al suprafeței PA / oțel.

Lubrifierea lagărului	Coeficient de frecare (R = 2,5μm pentru PA 6)
uscat	0,35
vaselină	0,12
ulei	0,09
apă	0,04

Tab.5.14 Efectul temperaturii asupra coeficientului de frecare al PA 6.

Temperatura [°C]	Oțel finisat pe PA finisată	PA finisată pe oțel	Oțel pe PA finisată
20	0,46	0,43	0,33
60	0,45	0,43	0,36
100	0,46	0,54	0,37
120	0,46	0,54	0,45

Tab.5.15. Schimbarea dimensiunilor lagărelor la tratament termic.

Temperatura matriței	Diametrul interior [mm] după injectare	Diametrul interior [mm] după tratament	Contracția
20	26,01	25,63	1,46
38	25,96	25,63	1,27
65	25,91	25,65	1,00
93	25,68	25,60	0,31

să fie bine prelucrate, de asemenea cele ale lagărului. Suprafețele fine de prelucrat permit o distribuție mai uniformă a presiunii și asigură condiții bune de curgere. Pentru mărirea duratei de serviciu a fusurilor metalice și a lagărelor din materiale termoplastice este indicat ca suprafețele fusurilor arborilor să posede o duritate cât mai ridicată.

O însușire pozitivă ce se ia în considerare, spre deosebire de lagărele metalice care în condițiile frecării uscate sau cu ungere insuficientă provoacă gripajul, la lagărele din materiale termoplastice nu are loc acest fenomen nedorit.

Spre deosebire de metale, materialele termoplastice au însușirea de a absorbi umiditatea fie din atmosferă, fie din lichidul cu care vin în contact. Datorită absorbției de lichide, lagărele își măresc greutatea și volumul, iar ca urmare se produc modificări dimensionale de care trebuie ținut seama la stabilirea jocului dintre fus și lagăr.

Lagărele din poliamidă se supun de asemenea unui tratament termic care are drept scop, pe de o parte, să elimine tensiunile interne care apar în piese în timpul procesului de injectare, iar pe de altă parte de a obține o structură mai bună a materialului, structura cristalină.

Tratamentul termic al lagărelor din poliamide se face într-o baie de ulei, încălzit la temperatura de 150...160°C, cu menținere timp de 5...10 minute pentru fiecare milimetru de grosime a peretelui [22].

În general în urma tratamentului termic în ulei, diametrul interior al lagărelor se reduce până la o valoare aproximativ comună pentru toate lagărele de aceeași mărime și formă, indiferent de temperatura matriței în care s-au injectat (*tab.5.15*).

Pentru lagărele de alunecare din materiale plastice absorbția de lichide prezintă, pe de o parte, neajunsul că provoacă unele schimbări dimensionale a căror mărime depinde de conținutul de umiditate, însă pe de altă parte prezintă avantajul că lubrifiantul absorbit în straturile superficiale face ca lagărele să fie mai puțin sensibile la ungeri defectuoase.

Un alt factor de care trebuie ținut seama la folosirea lagărelor din materiale termoplastice este conductibilitatea termică. Ca urmare a conductibilității termice reduse, căldura de frecare se evacuează mult mai greu decât la lagărele metalice. Din această cauză este necesar ca la proiectarea unui lagăr din material plastic să se acorde atenție acestui fapt, deoarece disiparea căldurii de la suprafețele de frecare spre mediul ambiant întâmpină o rezistență termică ridicată.

Pentru a înlesni evacuarea căldurii de la suprafețele de frecare ale lagărului spre mediul exterior se cunosc următoarele posibilități:
- folosirea de lagăre cu pereți subțiri;
- folosirea lubrifianților ca mijloc de răcire;
- răcirea artificială a lagărelor;
- folosirea lagărului invers (manșon din material plastic fretat pe fusul axului care se rotește în lagăr metalic).

Stabilitatea termică este un factor de care trebuie să se țină seama la utilizarea materialelor plastice ca lagăre de alunecare, deoarece depășirea limitelor prescrise atrage după sine deteriorarea lagărului (*tab.5.16*).

Un alt factor de care trebuie să se țină seama la proiectarea lagărelor este modulul

Tab.5.16. Caracteristicile unor materiale recomandate pentru lagăre.

Materialul	Presiunea admisă pe suprafață [daN/cm^2]	Încărcarea lagărului (pv) [daN/cm^2 · m/s]	Temperatura admisă a lagărului [°C]	Rugozitatea optimă a piesei din oțel [μm]	Uzura prin alunecare [μm/km]
PA 6.6	250	0,05	80	2...3	0,09
Poliformaldehidă	250	0,5	80	1...2	2,5
PE	80	0.2	45	<1	0,2
PTFE	60	0,3	200	<1	>5,0
PA 6.6 + 10%PE	200	2,0	80	2...4	0,3
PTFE + 20% grafit	320	0,2	250	<1	-

de elasticitate care este mai mic decât al metalelor. Modulul de elasticitate scăzut imprimă lagărelor capacitatea de a amortiza vibrațiile, trepidațiile și șocurile. Faptul că materialele plastice sunt mult mai elastice decât metalele face ca acestea să se deformeze sub acțiunea unor sarcini mari.

În cazul lagărelor, valoarea deformației este influențată de următorii factori:
- natura materialului și temperatura sa;
- încărcarea specifică;
- durata solicitării;
- grosimea peretelui lagărului;
- absorbția de lichide a materialului lagărului.

Materialele plastice au o rezistență la încovoiere mai mică decât metalele, lucru de care trebuie ținut seama la proiectarea lagărelor.

5.2.6.2. Calculul lagărelor

Există mai multe metode pentru calculul lagărelor de alunecare [21, 22, 23, 24, 25]. Se consideră un ax metalic care se sprijină într-un lagăr din material plastic conform *fig.5.56.*

Presiunea medie din lagăr p (încărcare specifică) se calculează cu relația

$$p = \frac{F}{ld} \le p_a , \tag{5.30}$$

unde:
- F - forța radială de încărcare [daN];
- l - lungimea fusului [mm];
- d - diametrul fusului [mm];
- p_a - presiunea medie admisibilă [daN/mm^2].

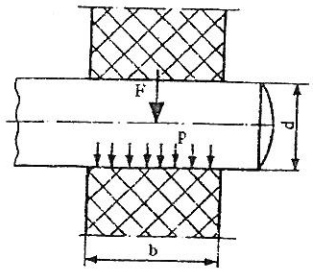


Fig.5.56. Sprijinirea unui ax în lagăr de alunecare din material plastic.

Viteza periferică a fusului v se calculează cu relația

$$v = \frac{\pi d n}{1000} , \tag{5.31}$$

unde:
- n - turația fusului [rot/min];
- d - diametrul fusului [mm].

O măsură a încărcării lagărelor de alunecare o reprezintă produsul dintre încărcarea specifică și viteza periferică a fusului (pv).

Ținând cont de relația (5.30), produsul (pv) se poate scrie

$$(pv) = \frac{F}{ld} v \le (pv)_a , \tag{5.32}$$

unde:
- $(pv)_a$ - valoarea admisibilă a produsului (pv).

Valoarea admisibilă a produsului (pv) poate fi determinată din *tab.5.16.*

Durata de serviciu este influențată de temperatura lagărului, de rugozitatea piesei care alunecă și de presiunea medie de suprafață. Temperatura de lucru poate modifica coeficientul de frecare. În lucrarea [24] se determină o expresie generală pentru $(pv)_a$ luând în considerare bilanțul termic din lagăr.

Căldura formată în lagăr se calculează cu expresia

$$Q_1 = p \cdot d \cdot l \cdot v \cdot \mu , \tag{5.33}$$

unde:
- p - încărcarea specifică;
- d - diametrul lagărului;
- l - lungimea lagărului;
- v - viteza de alunecare;
- μ - coeficientul de frecare din lagăr.

Căldura disipată prin lagăr, și axul metalic se calculează cu expresia

$$Q_2 = k_1 \frac{\pi l d}{s} \lambda \Delta\theta_a + k_2 \frac{\pi d}{4} \lambda_{01} \Delta\theta_a , \tag{5.34}$$

unde:
- λ - conductibilitatea termică a materialului plastic al lagărului;
- λ_{01} - conductibilitatea termică a oțelului;
- $\Delta\theta_a$ - temperatura admisibilă la suprafața de alunecare;
- k_1 - factor dimensional (0,5);
- k_2 - factor dimensional (1/24).

Din egalitatea $Q_1 = Q_2$ se scoate produsul

$$(pv)_a = k_1 \frac{\pi \lambda \Delta\theta_a}{\mu s} + k_2 \frac{\pi \lambda_{01} \Delta\theta_a}{4 p \mu} . \tag{5.35}$$

Înlocuind în expresia (5.35) valorile pentru poliamidă și oțel se obține expresia

$$(pv)_a = \frac{\Delta\theta_a}{26800\,\mu} \left(\frac{10}{s} + \frac{250}{3 \cdot l} \right) . \tag{5.36}$$

Pentru un lagăr PA/oțel principalele date se oferă în *tab.5.13, tab.5.17* și *tab.5.18.*

În lucrarea [7] valorile lui (pv) pentru un poliacetal se pot determina din grafice conform *fig.5.57.*

Cantitatea de căldură din lagăr este influențată și de toleranța dintre bucșa lagărului și ax. Mărimea jocului lagărului se determină cu relația

$$j = d_{il} - d_{ea} , \tag{5.37}$$

unde:

- d_{ii} - diametrul interior efectiv al lagărului;
- d_{ea} - diametrul exterior efectiv al arborelui.

Jocul trebuie ales mai mare decât la lagărele din metal datorită următoarelor considerente:

- datorită absorbției umidității din aer și a uleiului de ungere, lagărul crește în volum și diametrul interior se micșorează;
- regimul de temperatură al lagărelor din materiale plastice este mai ridicat, ceea ce face ca axul să se dilate mai mult decât la lagărele metalice.

Se pot trasa curbe din care să rezulte jocul (*fig.5.58*). Curbele sunt trasate pentru o temperatură medie a lagărului de 60°C.

În timpul funcționării un lagăr suferă o uzură mecanică care poate fi pusă în dependență de coeficientul de frecare al suprafețelor în contact, de temperatură, de toleranță, etc.

Cuantificarea uzurii lagărului U_l se face cu relația

$$U_l = \frac{0,167(\theta_m - \theta_r)t}{\theta_r}, \qquad (5.38)$$

unde:

- θ_m - temperatura maximă în lagăr [°C];
- θ_r - temperatura recomandată de lucru [°C];
- t - timpul de funcționare [s].

Temperaturi admise ale lagărului, pentru diferite regimuri de prelucrare sunt recomandate în *tab.5.17*.

În general este indicat ca lagărele din material plastic să se construiască respectând raportul $L/d \leq 1,5$ (*tab.5.18*). Această condiție este impusă de faptul că materialele plastice spre deosebire de metale au o rezistență mică la încovoiere. Grosimile de pereți

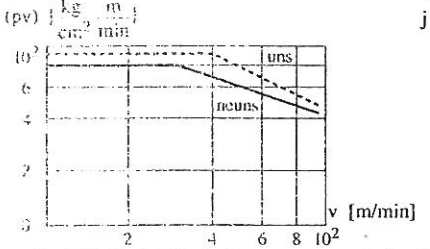


Fig.5.57. Curba de încărcare recomandată pentru lagăre din Hostaform.

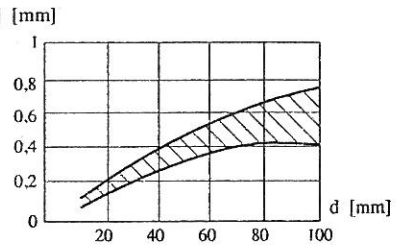


Fig.5.58. Jocul prevăzut la lagăre de alunecare din Hostaform și Hostadur K VP 4022.

Tab.5.17. Temperatura admisibilă la suprafața de alunecare.

Tipul polimerului	Temperatura admisibilă la suprafața de alunecare [°C]		
	la durată îndelungată de serviciu	la durată medie de serviciu	solicitare de scurtă durată
PA 6	sub 60	max. 80	130...150
PTFE	sub 60	max. 100	180...200

Tab.5.18. Lățimea lagărului în funcție de diametrul acestuia.

Diametrul lagărului d [mm]	Lățimea lagărului l [mm]
sub 20	(0,75...1,5)d
peste 20	(0,50...1,0)d

trebuie să fie mai mici astfel încât jocul să fie stabil, influența dilatației, deformației și conductivității să fie practic nulă.

Pentru fusul lagărului din oțel se recomandă durități de 40HRC și suprafață rectificată cu rugozitatea $R = 2\mu m$.

5.2.6.3. Forme constructive

La proiectarea lagărelor și bucșelor trebuie în primul rând să se pună de acord parametrii constructivi (dimensiuni, forma) cu caracteristicile fizico-mecanice ale materialului plastic ales. Bucșa din material plastic poate funcționa ca atare sau presată într-o carcasă metalică. La presarea bucșelor din material plastic este necesar să se prevadă strângeri mai mari decât la presarea bucșelor metalice.

Mărimea strângerii este în funcție de:

- grosimea pereților bucșei;
- procedeul de presare (manual sau mecanic);
- lungimea bucșei;
- rezistența carcasei metalice.

Bucșele din material plastic au lungimea mai mică decât cele din materiale metalice ($L/d = 0,7...1$). Alezajul carcasei sau lagărului în care se presează bucșa din material plastic se prelucrează astfel ca rugozitatea să fie 12,5 μm. În afară de bucsele cilindrice simple destinate solicitărilor radiale, uneori se folosesc bucșe cu flanșă pentru preluarea eforturilor radiale și axiale. În *fig.5.59* se dau câteva exemple constructive de lagăre și bucșe.

Lagărul invers constă dintr-un manșon din material plastic *3* fixat prin strângere pe fusul unui ax *4* care se sprijină pe o bucșă metalică *2*. Când se află în funcțiune, manșonul care este solidar cu axul se rotește în lagărul metalic *1* (*fig.5.60*).

5.2.7. Angrenaje

Datorită unor proprietăți fizico-mecanice pe care le posedă, materialele termoplastice s-au extins și în construcția roților dințate [25, 31].

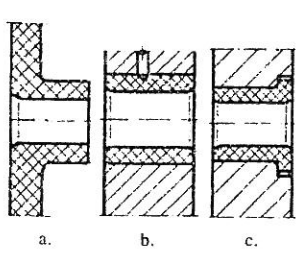


Fig.5.59. Exemple constructive de lagăre și bucșe din material plastic: a - lagăr din material plastic; b - bucșă din material plastic; c - bucșă cu guler din material plastic.

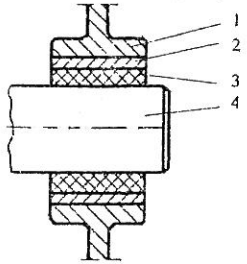


Fig.5.60. Exemplu constructiv de lagăr invers: 1 - lagăr; 2 - bucșă metalică; 3 - manșon din material plastic; 4 - ax metalic.

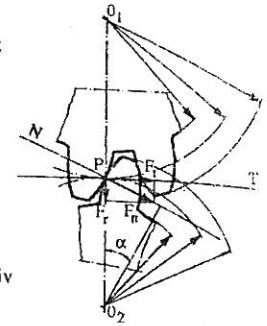


Fig.5.61. Elemente geometrice ale angrenajelor cilindrice cu dinți drepți.

5.2.7.1. Caracterizare generală

Dintre materialele termoplastice sunt recomandabile pentru realizarea roților dințate: poliamidele, policarbonații, poliacetalii.

Folosirea materialelor termoplastice la realizarea roților dințate prezintă următoarele avantaje:

- avantaje economice prin procedeul de injectare;
- rezistență la uzură chiar în absența ungerii;
- rezistență mare la coroziune;
- masă specifică redusă care determină o diminuare a efectelor dinamice și silențiozitate în lucru.

Dezavantajele angrenajelor din mase plastice sunt:

- rezistență mecanică mai scăzută decât a roților dințate din metal;
- conductivitate termică mică;
- coeficient de dilatație mai mare decât al metalelor;
- influența condițiilor tehnologice și de mediu asupra proprietăților mecanice.

Prin adaosuri adecvate în compoziția materialului termoplastic, armare cu fibre rezistente (sticlă, carbon) cât și prin aplicarea unei tehnologii corecte a injectării, pot fi atenuate dezavantajele. Calitățile roților dințate din materiale termoplastice le recomandă în cele mai diverse domenii ale industriei: aparate electrocasnice, mașini de calcul, calculatoare, contoare electrice, mașini poligrafice, mașini textile, etc.

5.2.7.2. Calculul roților dințate

În general prin procedeul de injectare se realizează roți dințate cilindrice cu dinți drepți. În cele ce urmează se fac referiri la acest tip de roți dințate.

La calculul angrenajelor este necesar să se țină seama de:

- condițiile de montaj (precizia de prelucrare, modul de ungere);
- condițiile de exploatare (viteza periferică, sarcina de transmisie, durata de exploatare).

Acești factori influențează capacitatea portantă a angrenajelor și majoritatea se stabilesc pe bază de numeroase încercări experimentale.

Elemente de bază din geometria și cinematica angrenajelor în evolventă. Teoria generală a angrenării stabilește condiția care trebuie să o îndeplinească profilul ales pentru dinți, astfel ca transmisia mișcării să se facă într-un raport constant i [21, 25]

$$i = \frac{n_1}{n_2}, \tag{5.39}$$

unde:

- n_1 - turația roții dințate *1*;
- n_2 - turația roții dințate *2*.

Această lege fundamentală pentru angrenare are condiția ca normala comună la profilul dinților în punctul de contact să treacă prin polul angrenării P (*fig.5.61*). Profilele dinților care satisfac această condiție se numesc profile conjugate.

Cel mai răspândit tip de profil este cel evolventic datorită următoarelor avantaje:

- nu este sensibil la abaterile distanței dintre axe;
- cuiburile matriței în care se injectează roțile se pot prelucra cu scule simple;
- dantura evolventică poate fi ușor corijată în vederea funcționării optime.

Unghiul α se numește *unghi de angrenare* (unghiul format de raza corespunzătoare polului de angrenare și tangenta la curba evolventei în punctul considerat).

Angrenarea normală are loc atâta timp cât scula-cremalieră pătrunde în semifabricat până când linia de referință TT cuprinsă în planul de divizare devine tangentă la cercul, respectiv la suprafața de rostogolire în polul angrenării P. Se realizează astfel roțile dințate cu profil normal (nedeplasat) și, corespunzător, angrenaje normale (nedeplasate). Caracteristic acestor angrenaje este faptul că cercurile de rostogolire sunt identice cu cercurile de divizare ($D_1 = D_2$).

Unghiul de angrenare al acestor roți este identic cu unghiul normal de angrenare al profilului de referință al cremalierei ($\alpha = \alpha_0 = 20°$) spre deosebire de roțile cu profil deplasat ($\alpha \neq \alpha_0$).

Roțile cu dantură deplasată se obțin când linia medie a profilului de referință TT a sculei nu mai este tangentă la cercul de divizare ci la un alt cerc. Dreapta de rostogolire a cremalierei de referință va fi tangentă la cercul de divizare, iar între această dreaptă și linia medie a profilului de referință va exista o distanță notată cu x, numită deplasarea sculei și care se poate exprima

$$x = \xi m, \tag{5.40}$$

unde:

- ξ - deplasarea specifică sau coeficient de deplasare;
- m - modul.

Pentru a îmbunătăți comportarea angrenajului, deplasarea de profil se poate face diferit pe cele două roți:

- $\xi_1 + \xi_2 = 0$ ($\xi_1 = -\xi_2$); angrenaj cu dantura compensată;
- $\xi_1 + \xi_2 \neq 0$ ($\xi_1 \neq \xi_2$);

Se consideră două roți dințate cilindrice cu dinți drepți (*fig.5.61*). Considerentele geometrice sunt valabile pentru angrenajele cu profil normal (nedeplasat). Se pun în evidență cele mai importante elemente geometrice ale angrenajului:

- ***pasul danturii p*** măsurat pe cercul de divizare, reprezintă distanța dintre două flancuri omoloage consecutive;
- ***modulul m*** parametrul de bază al unui angrenaj, este definit ca raport între pasul de divizare și numărul π

$$m = \frac{p}{\pi}; \tag{5.41}$$

- ***diametrele cercurilor*** care limitează exterior și interior dantura, ale cercurilor de rostogolire și ale cercurilor de bază se pot exprima în funcție de numărul de dinți și modul:
- *diametrul de divizare* D_d

$$D_{d1} = mz_1, \tag{5.42}$$

unde:

$$D_{d2} = mz_2, \tag{5.43}$$

- z_1 - numărul de dinți ai roții dințate *1*;
- z_2 - numărul de dinți ai roții dințate *2*;
- *diametrele cercurilor de rostogolire* coincid cu *diametrele cercurilor de divizare* ($D_d = D_r$);
- *diametrele cercurilor de fund* (diametre interioare) D_i

$$D_{i1} = m(z_1 - 2f_0 - 2w_0), \tag{5.44}$$

unde:

$$D_{i2} = m(z_2 - 2f_0 - 2w_0), \tag{5.45}$$

- f_0 - coeficientul de înălțime al capului dintelui;

- w_0 - coeficientul jocului radial;
- *diametrele cercurilor de vârf* (diametre exterioare) D_c

$$D_{c1} = m(z_1 + 2f_0). \tag{5.46}$$

$$D_{c2} = m(z_2 + 2f_0). \tag{5.47}$$

- ***înălțimea capului dintelui*** h reprezintă semidiferența între diametrele exterior și interior ale roții

$$h = (2f_0 + w_0)m. \tag{5.48}$$

Înălțimea dintelui se mai poate exprima

$$h = a + b, \tag{5.49}$$

unde:
- a - înălțimea capului dintelui;
- b - înălțimea piciorului dintelui;

- ***distanța axială*** care reprezintă cea mai scurtă distanță între axele celor două roți care formează angrenajul

$$A = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}. \tag{5.50}$$

Determinarea forței și momentului transmis de angrenaj. La proiectarea roților dințate din materiale termoplastice se pot folosi aceleași formule ca în cazul angrenajelor metalice, ținându-se seama de particularitățile materialelor termoplastice.

În perioada angrenării, contactul dinților sub presiune se deplasează de la vârful dinților spre bază și invers la dantura conjugată. Punctul de aplicare al rezultantei presiunilor F_n, având direcția normală la profilul evolventic, se deplasează pe planul activ suprapunându-se continuu normalei comune *N-N* (*fig.5.61*)

Forța normală F_n se determină în funcție de puterea P_1 [kW] sau de momentul de torsiune M_{t1} [daN cm] ce lucrează pe pinion, cu relația

$$F_n = \frac{2M_{t1}}{D_{t1}\cos\alpha} \quad [kW], \tag{5.51}$$

unde:

$$M_{t1} = 95500\frac{P_1}{n_1} \quad [daN \cdot cm]. \tag{5.52}$$

Forța normală F_n se descompune în componenta tangențială F_t și radială F_r

$$F_t = F_n\cos\alpha = \frac{2M_{t1}}{D_{t1}}. \tag{5.53}$$

$$F_r = F_n\sin\alpha = F_t\,tg\alpha. \tag{5.54}$$

Viteza periferică a danturii se calculează cu relația

$$v_r = \pi D_r n, \tag{5.55}$$

unde:
- D_r - diametrul de rostogolire [m];
- n - turația [rot/min].

În literatura de specialitate se constată existența unui număr mare de recomandări de calcul care are drept scop evitarea unora dintre fenomenele de deteriorare. Proprietățile deosebite ale materialelor plastice și în general deformabilitatea sporită fac ca angrenarea să se producă în condiții mai complexe decât la angrenajele metalice și fenomenele de deteriorare să prezinte numeroase aspecte particulare. Se pot distinge următoarele deteriorări [31]:

- fenomene de uzură specifică, inițial sub formă de zgârâieturi și îndepărtări de material, cu urme de gripare în zonele de intrare și de ieșire din angrenare;
- fenomene de oboseală de contact, cu evolutie progresivă, în zonele de intrare și de ieșire din angrenare;
- fenomene de uzură progresivă cu îndepărtare de material în zonele de intrare și de ieșire din angrenare;
- deformații plastice progresive;
- ruperea coroanei;
- ruperea dintelui prin fenomene termice locale la angrenaje cu ungere slabă sau fără ungere;
- desprinderea stratului superficial de material.

Determinarea temperaturii de funcționare a angrenajelor. Deoarece temperatura de lucru a angrenajelor este un factor hotărâtor în aprecierea caracteristicilor mecanice ale materialelor utilizate se apreciază că determinarea acestei temperaturi trebuie să constituie primul pas la proiectarea angrenajelor din materiale plastice.

Din condiția de bilanț termic pentru ansamblul roți dințate, cutia reductorului, mediu ambiant, în lucrarea [31] se propune relația lui Hachmann

$$T = T_0 + 136\,N\mu\frac{i+1}{z_1 + 5i}\left[\frac{2400\,k_2\,a^{3/4}}{b\,z_{1,2}\,\lambda\,(v\cdot m)^{3/4}} + \frac{6{,}3\,k_3}{A}\right] + \Delta T_m \quad [^\circ C], \tag{5.56}$$

unde:
- T_0 - temperatura mediului ambiant [°C];
- N - puterea transmisă [kW];
- μ - coeficient de frecare;
- i - raport de transmisie;
- $z_{1,2}$ -numărul de dinți , respectiv pentru pinion și pentru roată;
- k_2 - caracteristica dimensională de transmitere a căldurii de la roată în rotație la mediul din cutia reductorului (*tab.5.19*);
- k_3 - caracteristica corelată cu transmiterea căldurii de la cutie la mediul ambiant ($k_3 = 0$ pentru transmisii deschise, $k_3 = 0{,}05...0{,}2$ m²h°C/kcal pentru transmisii închise);
- λ - coeficient de conductivitate termică pentru aer (0,024 kcal/mh°C);
- a - coeficient de transmitere a temperaturii pentru aer la 30°C (0,094m²/h);
- b - lățimea danturii [mm];
- m - modulul [mm];
- v - viteza [m/s];
- A - suprafața prin care se evacuează caldura produsă de transmisie [m²];
- ΔT_m - diferența de temperatură de 8...10 °C la angrenajele unse cu ulei între temperatura uleiului din baie s, temperatura dintelui [°C],
- T - temperatura corpului sau flancurilor dintelui [°C]

Relații asemănătoare pentru T sunt oferite în lucrările [27, 30].

Determinarea caracteristicilor mecanice ale materialului plastic pentru regimul de funcționare stabilit. Pentru fiecare materialului plastic încercările mecanice sunt deosebit de importante în special în ceea ce privește limita de rupere σ_r și modulul de elasticitate E. Chiar dacă acestea sunt cunoscute din diferite tabele și recomandări, numărul de factori care pot influența proprietățile unui material plastic este mare.

Limita de rupere interesează pentru a restabili comparativ portanța materialului utilizat față de portanța unui material similar, experimentat. Iar modulul de elasticitate va interveni direct în calcule.

Pentru temperaturi diferite de 20°C (temperatura la care se fac deobicei încercările) și pentru diverse stări de umiditate, mai ales la poliamide, dacă sunt posibile încercări

Tab.5.19. Valori pentru coeficienții μ și k_2.

Transmisia		μ	k_2			
			plastic / oțel		plastic / plastic	
			flanc	corp	flanc	corp
cu ungere	ulei în baie	0,04	0	0	0	0
	ceață de ulei	0,07				
	unsoare la montaj	0,09	10	1	15	2,4
fără ungere		0,20				

și pentru aceste situații, caracteristicile standard vor putea fi simplificate cu coeficienți de corecție (k_{ET}).

La materialele termoplastice trebuie de asemenea să se țină seama de modificarea deformabilității materialului în regim dinamic de aplicare a sarcinii (K_{dt}).

Astfel, în regim dinamic, pentru o temperatură dată T (100°C $\geq T \geq$ 20°C) la poliamide cu conținut de apă absorbită 1...5% se scrie relația

$$E = k_{dT} \cdot k_u \cdot k_{ET} \cdot E_0 \ , \qquad (5.57)$$

unde:

- k_{dT} - coeficient dinamic de aplicare a sarcinii (*fig.5.62*);
- k_u - coeficient de corecție a umidității (*fig.5.63*);
- k_{ET} - coeficient de corecție a temperaturii (*fig.5.64*);
- E_0 - modul de elasticitate la încovoiere în condiții standard de încercare.

La alte materiale plastice la care absorbția de apă este mult mai redusă decât la poliamide relația (*5.57*) se simplifică

$$E = k_{dT} \cdot k_{ET} \cdot E_0 \ . \qquad (5.58)$$

De asemenea coeficientul k_u precizează diminuarea limitei de rupere pentru poliamide în funcție de conținutul de apă absorbită

$$\sigma_r = k_u \sigma_{r0} \ , \qquad (5.59)$$

unde:

- σ_{r0} - limita de rupere în condiții standard de încercare.

Calculul rezistenței la rupere prin oboseală. Gravitatea consecințelor fenomenului de rupere a dinților impune efectuarea acestui calcul indiferent de materialul utilizat sau de condițiile de lucru.

Se recomandă relația [31]

$$\sigma = \frac{F_t}{mb} q_k q_\varepsilon q_\beta \leq \frac{\sigma_l}{c} \qquad [kgf / mm^2] \ , \qquad (5.60)$$

unde:

- σ - tensiunea echivalentă normală în zona de racordare a piciorului dintelui [kgf/mm^2];
- σ_l - tensiunea limită [kgf/mm^2];
- c - coeficient de siguranță (c = 1,2);
- F_t - forța periferică transmisă de angrenaj [kgf];
- q_k - coeficient de formă a dinților (*fig.5.65*);
- q_ε - coeficient de corecție dependent de gradul real de acoperire (*fig.5.66*);
- q_β - coeficient dependent de unghiul de înclinare al dintelui.

Pentru materiale termoplastice

$$q_\varepsilon = A\left(\frac{F_t}{mbE}\right)^{-0.125} \ , \qquad (5.61)$$

unde:

- b - lățimea roții [cm];
- m - modulul [cm];

- A - coeficient (*fig.5.67*);
- E - modulul de elasticitate la încovoiere, determinat cu relația (5.57) și (5.58) la temperatura de lucru a corpului dintelui calculată cu relația (5.56) și pentru un conținut de apă dat.

Pentru materialele termoplastice q_β = 0,75...1,00 (*fig.5.68*). Coeficientul global de corecție C se calculează cu relația

$$C = C_T \cdot C_u \cdot C_v \cdot C_p \cdot C_R \cdot C_{din} \ , \qquad (5.62)$$

unde:

- C_T - coeficientul ce ia în considerare influența temperaturii corpului dintelui (*tab.5.20*);
- C_u - coeficient de considerare a modului de ungere (*tab.5.21*);
- C_R - coeficient de considerare a influenței rugozității (*tab.5.22*);

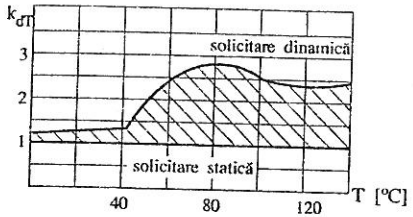


Fig.5.62. Valorile coeficientului k_{dt} în funcție de temperatură pentru poliamida 6.6.

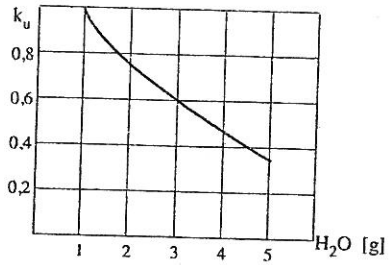


Fig.5.63. Valorile coeficientului de corecție a umidității k_u pentru poliamida 6.6.

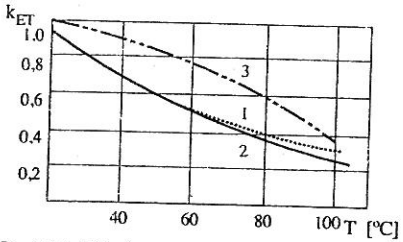


Fig.5.64. Valori pentru coeficientul de corecție a temperaturii k_{Et} la diferite temperaturi:
1 - poliamidă 6; 2 - poliamidă 6.6;
3 - poliformaldehidă;

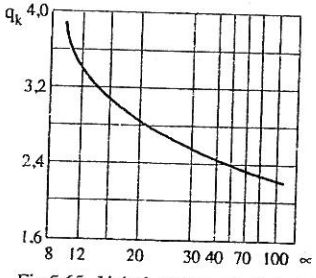


Fig.5.65. Valori pentru coeficientul q_k.

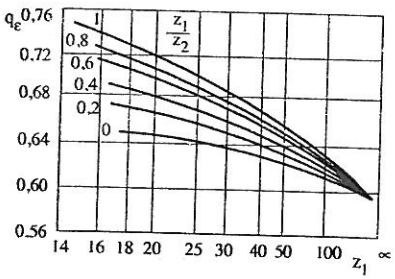


Fig.5.66. Valori pentru coeficientul q_ε.

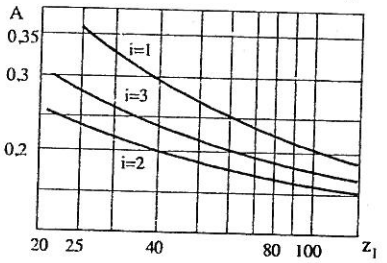


Fig.5.67. Valori pentru coeficientul A la materialele termoplastice.

- C_v - coeficient dependent de viteza periferică. Se recomandă cu aproximație valorile cuprinse în *tab.5.23*;
- C_p - coeficient dependent de modul de obținere a roții dințate finite:
  - roți injectate $C_p = 1{,}00$;
  - roți prelucrate prin așchiere $C_p = 1{,}00...1{,}09$;
- C_{din} - coeficient dinamic dependent de caracterul solicitării și regimul de funcționare. Se poate recomanda $C_{din} = 1{,}0...1{,}3$.

Valori pentru tensiunea limită sunt prezentate în *fig.5.69*.

Calculul de rezistență la oboseală de contact. Fenomenul de oboseală de contact se manifestă într-un mod mai complex decât la angrenajele metalice. La materialele termoplastice oboseala de contact s-a constatat nu numai în zona cercului de rostogolire dar și în zonele de intrare și ieșire din angrenare, datorită deformațiilor mari și a contactului la intrarea și ieșirea dinților din angrenaje în puncte exterioare liniei teoretice de angrenare. Afectarea acestor zone poate precede deteriorarea zonei cercului de rostogolire, în care, deși sarcina pe dinte este mai mare, razele de curbură sunt și ele mai mari. Suprafața deteriorată se poate extinde de la vârf și rădăcină către mijlocul dintelui și o dată cu micșorarea zonelor portante să determine o grăbire a pittingului în

Tab.5.20. **Valori pentru coeficientul C_T.**

Material	Calcul	Temperatura [°C]				
		20	40	60	80	100
Poliamidă 6	încovoiere	0,7	1,00	1,4	2	2,9
	contact	1,0	1,25	1,5	1,8	2,0
Poliamidă 66	încovoiere	0,8	1,00	1,3	1,7	2,4
	contact	-	-	-	-	-
Poliformaldehidă	încovoiere	0,9	1,00	1,2	1,4	1,7
	contact	1,0	1,25	1,6	1,8	2,0

Tab.5.21. **Valori pentru coeficientul C_u.**

Material	Număr de cicluri			Ungere
	10^6	10^7	10^8	
Poliamidă	1,6	1,8...2,5	2,7	neunse
Poliformaldehidă		1,6		unsoare consistentă
Textolit	1,3	1,4		neunse
În general		1		

Tab.5.22. **Valori pentru coeficientul C_R.**

Material	Calcul	Rugozitatea [μm]					
		1	2	4	6	8	10
Poliamidă	încovoiere	1			1,1		
	contact	1	-nu sunt alte recomandări				
Poliformaldehidă	încovoiere	1				1,2	
	contact	1	-nu sunt alte recomandări				

Tab.5.23. **Valori pentru coeficientul C_v.**

Material	Calcul	Viteza periferică							Ungere
		1	2	4	6	8	10	16	
Poliamidă	încovoiere	0,6	0,7	0,9		1		1,1	unse sau uscate
	contact	1	nu sunt alte recomandări						
Poliformaldehidă	încovoiere		0,7			1			unsoare consistentă
	contact	1	nu sunt alte recomandări						

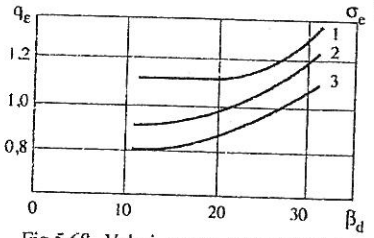


Fig.5.68. Valori pentru coeficientul q_β: 1 - $2 \cdot 10^7$ rotații; 2 - 10^6 rotații; 3 - 10^5 rotații; β_d - unghiul de înclinare a dinților.

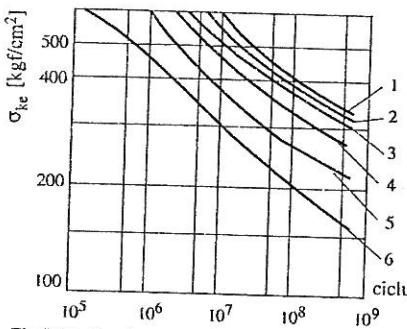


Fig.5.70. Tensiunea maximă limită de contact pentru roți dințate din PA 6.6 pe roți dințate din oțel:
1 - 20°C (temperatura de flanc); 2 - 40°C; 3 - 60°C; 4 - 80°C; 5 - 100°C; 6 - 120°C; zona cercului de rostogolire.

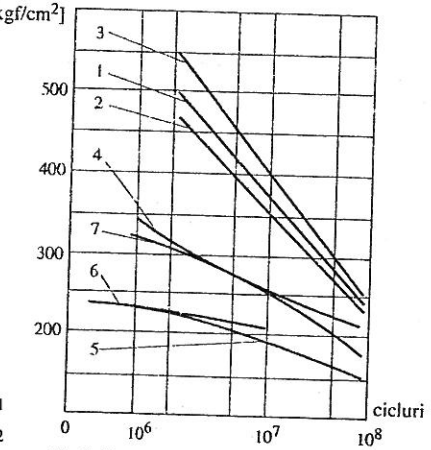


Fig.5.69. Valori pentru tensiunea limită determinată din încercări experimentale. Cu

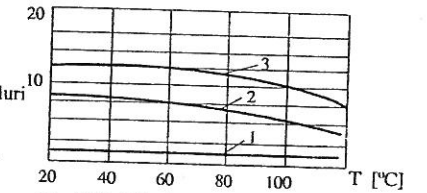


Fig.5.71. Valori pentru coeficientul C_u în funcție de temperatura flancurilor dinților la PA 6.6.

Tratarea fenomenului de pitting cu ajutorul relațiilor de calcul tip Hertz duce la calculul de rezistență la oboseală de contact prin relația

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{0,638}{\sin 2\alpha} \cdot \frac{F_t}{l\, D_{d1}} \cdot \frac{i+1}{i} \cdot \frac{C}{\frac{1+\upsilon_1^2}{E_1} + \frac{1-\upsilon_2^2}{E_2}}} \le \frac{\sigma_{kl}}{c}, \qquad (5.63)$$

unde:

în care:

$$C = C_T \cdot C_R \cdot C_v \cdot C_u \cdot C_\varepsilon \cdot C_{din}, \qquad (5.64)$$

- σ_k - tensiunea normală maximă de contact [kgf/cm²];
- σ_{kl} - tensiunea maximă limită de contact (*tab.5.24*; *fig.5.70*) [kgf/cm²];
- α - unghiul de angrenare în plan normal pe dinte;
- l - lățimea de contact [cm];
- D_{d1} - diametrul de divizare al pinionului [cm];
- E_1, E_2 - modulul de elasticitate longitudinal cu considerarea influenței caracterului dinamic al aplicării sarcinii (vezi relațiile 5.57 și 5.58);
- ν_1, ν_2 - coeficientul lui Poisson, ν_1, $\nu_2 = 0{,}3...0{,}5$;
- C_T, C_R, C_v, C_{din} - coeficienți cu semnificația celor cuprinși în formula (5.62);

Tab.5.24. **Valori pentru tensiunile maxime limită.**

Material	σ_{kl} [kgf/cm^2]	
Poliamidă	660...860 sau fig.5.73 pt. $N=10^7$	$(662...850)\sqrt[6]{\frac{10^7}{N}}$ pt. $N\neq10^7$
Poliformaldehidă	770...960	$(770...960)\sqrt[6]{\frac{10^7}{N}}$

- C_u - coeficient dependent de ungere (*fig.5.71*);
- C_ε - coeficient dependent de gradul de acoperire teoretic (*fig.5.72*);
- c - coeficient de siguranță (c = 1,2).

Calculul de rezistență la uzură. Evoluția progresivă a fenomenelor de uzură are o influență nefavorabilă asupra funcționării angrenajului.

Efectuarea unor calcule de rezistență este necesară atunci când condițiile de funcționare a angrenajului nu permit existența permanentă a unei pelicule de lubrifiant între flancurile în contact, atunci când există:

- funcționare cu ungere, în faza inițială cu contact pe muchiile dinților;
- funcționare cu ungere, uzură cu evoluție progresivă;
- ungeri insuficiente sau la intervale rare, uzură cu evoluție progresivă.

Pentru poliamide în lucrarea [24] se propune pentru determinarea uzurii ΔS relația

$$\Delta S=5\cdot10^{-11}N[1+(\frac{T_{fl}}{100})^5][1+(\frac{R_0}{10})^4][1+(\frac{\sigma_k}{100})^{1/2}]\leq0{,}2\,m \quad [cm], \tag{5.65}$$

unde:

- N - numărul de cicluri;
- T_{fl} - temperatura flancului dintelui [°C];
- R_0 - rugozitatea flancurilor pentru roata de oțel;
- σ_k - tensiunea normală maximă.

Calculul jocului. În comparație cu roțile dințate metalice, roțile dințate din materiale plastice pot prezenta modificări dimensionale importante din următoarele motive:

- contracție în urma prelucrării prin injectare;
- dilatări termice în funcționare;
- absorbția de apă, ulei, etc.

Aceste modificări dimensionale pot duce la modificarea jocurilor din angrenaj și, eventual, la o ungere necorespunzătoare, chiar la înțepenirea angrenajului. Există mai multe propuneri de formulă pentru jocuri.

Se recomandă relațiile:

- jocul între flancuri

$$j_{min}=j_{min_0}+2a\sin\alpha(\alpha_t\Delta t+\frac{U-C_0}{100}); \tag{5.66}$$

- jocul radial

$$j_{min\,r}=j_{min\,r_0}+a(\alpha_t\Delta t+\frac{U-C_0}{100}), \tag{5.67}$$

unde:

- j_{min0} - jocul minim între flancuri necesar unei ungeri satisfăcătoare, sau jocul minim normal standardizat pentru angrenaje metalice

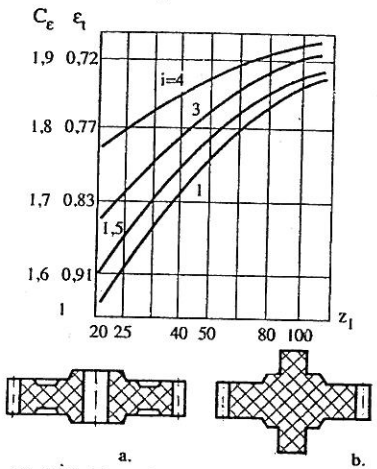


Fig.5.73. Exemple de roți dințate injectate: a - roată dințată; b - pinion.

Fig.5.72. Gradul de acoperire teoretic pentru roți dințate cilindrice cu dinți drepți, pentru termoplaste $C_\varepsilon=1$.

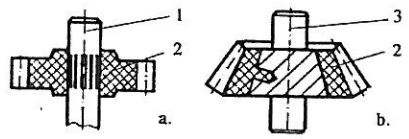


Fig.5.74. Roți dințate din material plastic injectate pe inserții: a - roată injectată pe ax; b - roată dințată conică injectată pe inserție; 1 - ax; 2 - roată dințată din material plastic; 3 - inserție.

Tab.5.25. **Caracteristici ale diferitelor materiale termoplastice.**

Material	C_0 [%]	α_t	absorbția de apă [%]
Poliamidă	1,5...2,0	8,3...12,8	2...8
Poliformaldehidă	2,0...2,5	8,1...10,0	0,25...0,22
Policarbonat	0,6...0,8	6,0...7,0	0,15

Tab.5.26. **Valori pentru modificările dimensionale radiale pentru roți dințatedin PA 6 și PA 6.6 ca urmare a absorbției de apă (grosime 4mm).**

Condiții de funcționare	Tratament	Conținut de apă [%]	U [%]
îndelungat	-	-	0,05
climă normală	-	4	0,5
climă normală	condiționare	2	0,15
aer foarte umed	-	-	1,2
aer foarte umed	condiționare	4	0,5
apă	necondiționat	-	2,5
apă	necondiționat	8	0,5

$$j_{min\,0}=\frac{m}{50}...\frac{m}{30}; \tag{5.68}$$

- $j_{min\,r0}$ - jocul radial minim penru angrenaje metalice ($j_{min\,r0}=0{,}25m$);
- a - lungimea porțiunii de material plastic măsurată pe distanța dintre centre;
- α_t - coeficientul de dilatare termică liniară pentru material plastic;
- Δt - diferența de temperatură dintre temperatura de funcționare a angrenajului și temperatura la care se fac măsurările roții [°C];
- U - modificările dimensionale radiale datorate absorbției de apă [%] (*tab.5.25* și *tab.5.26*);
- C_0 - contracția radială la prelucrarea prin injectare, dependentă de tipul materialului, umiditate, condițiile de prelucrare, forma piesei.

5.2.7.3. Soluţii constructive

Pentru realizarea unor roţi dinţate există mai multe soluţii constructive. Roţile se pot realiza complet din material plastic (*fig.5.73*). Roata dinţată din *fig.5.73.a* se montează pe ax metalic după injectare, iar pinionul (*fig.5.73.b*) este dotat din injectare cu fusuri pentru alunecarea în lagăr. Îmbinarea dintre butucul roţii dinţate şi un ax metalic se poate face prin pană sau caneluri. Roţile dinţate pot fi injectate în matriţă pe inserţii metalice (*fig.5.74*). Roţile dinţate prezentate în *fig.5.74* prezintă o mai mare stabilitate dimensională datorită limitării dilatării dimensionale la creşterea temperaturii.

În cazul injectării unor roţi dinţate de calitate se acordă importanţă:

- alegerii locului de injectare; locul de injectare se alege spre centru evitându-se zona dinţilor (injectare cu canal tunel curbat sau injectare punctiformă);
- respectarea parametrilor de injectare în vederea unei bune compactizări a materialului plastic, contracţiei reduse, evitarea tensiunilor interne.

5.3. Calitatea piesei injectate

Pentru injectarea unor repere de înaltă calitate trebuie îndeplinite următoarele condiţii:

- precizie ridicată (exactitatea dimensiunilor, calitatea suprafeţelor);
- stabilitate dimensională în timpul utilizării;
- capacitate ridicată la funcţionare;
- calitate constantă;
- cost de fabricaţie redus.

La execuţie, calitatea reperului impune:

- toleranţe strânse (dimensiuni, greutate);
- număr redus de rebuturi;
- timpi reduşi de fabricaţie;
- grad înalt de automatizare.

5.3.1. Absorbţia de umiditate

Unele materiale plastice lăsate în mediul ambiant absorb umiditatea din aer tinzând spre o stare de echilibru. Absorbţia umidităţii depinde în mare parte de:

- grosimea pereţilor piesei injectate;
- temperatură;
- umiditate relativă a mediului ambiant.

Absorbţia umidităţii determină:

- modificarea dimensiunii piesei injectate (*fig.5.75*);
- diminuarea rigidităţii (*fig.5.76*).

5.3.2. Contracţia piesei injectate

La prelucrarea termoplastelor prin injectare în vederea obţinerii unei piese de anumite

dimensiuni trebuie luat în considerare fenomenul de contracţie. *Contracţia* piesei injectate este definită ca micşorarea volumului sau reducerea dimensiunilor liniare odată cu răcirea piesei injectate de la temperatura de prelucrare la temperatura camerei (*fig.5.77*).

Contracţia de prelucrare se stabileşte de la 24 de ore până la 168 de ore de la scoaterea piesei injectate din matriţă. După această perioadă poate apărea, mai ales la termoplastele cristaline, fenomenul de *contracţie ulterioară* sau *postcontracţie*. Postcontracţia este cu atât mai mare cu cât temperatura de depozitare a piesei este mai mare (*fig.5.78*) [1]. *Contracţia totală* este suma dintre contracţia de prelucrare şi postcontracţie.

Contracţia pieselor injectate depinde în primul rând de natura materialului termoplastic injectat: amorf, parţial cristalin sau cristalin. Materialele termoplastice amorfe (polistirenul, polimetacrilatul de metil, poliacetatul de vinil) prezintă proprietăţi izotropice largi având contracţii uniforme la prelucrarea prin injectare. La piesele injectate din materiale termoplastice parţial cristaline (poietilena, politetrafluoretilena) sau cristaline (poliamide, poliesteri) cristalizarea este însoţită de o puternică micşorare a volumului specific, contracţia fiind mai puternică decât la materialele plastice amorfe. Variaţia volumului specific pentru cele două tipuri de materiale este prezentată în *fig.5.79* [1, 3]. Polimerii semicristalini se topesc şi cristalizează pe un interval de temperatură. La fiecare temperatură se stabileşte un echilibru între fazele cristaline şi cele amorfe. Cu ridicarea temperaturii procentul de fază cistalină scade şi echilibrul se deplasează în sensul creşterii

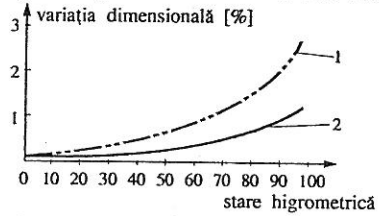


Fig.5.75. Variaţia dimensională a poliamidei (Technyl), în funcţie de starea higrometrică: 1 - poliamidă 6 şi poliamidă 6.6 (tip A şi C); 2 - poliamidă 6.10 (tip D).

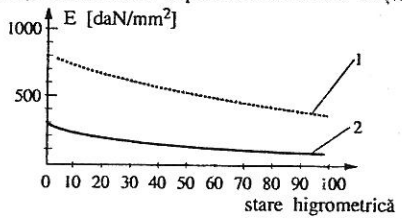


Fig.5.76. Variaţia modulului de elasticitate la încovoiere, în funcţie de starea higrometrică: 1 - poliamidă 6 (A216); 2 - poliamidă 6.6 armată cu 30% fibră de sticlă (A216 tip V30).

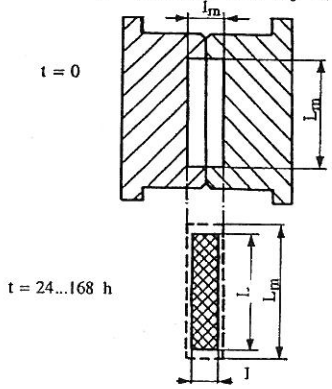


Fig.5.77. Contracţia piesei injectate: l_m, L_m - dimensiuni în matriţă; l, L - dimensiuni ale piesei injectate.

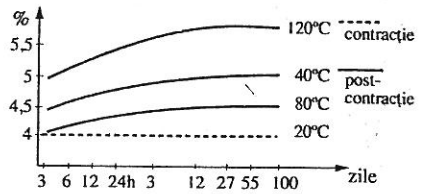


Fig.5.78. Contracţia şi postcontracţia unei piese injectate din polietilenă.

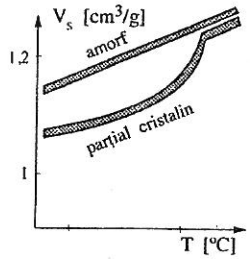


Fig.5.79. Variația volumului specific la materiale plastice amorfe și cristaline.

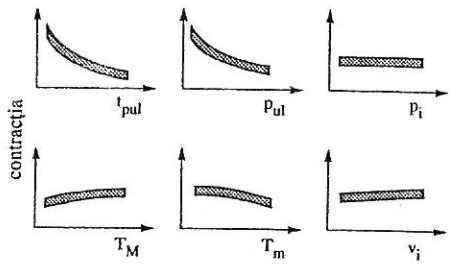


Fig.5.80. Influența parametrilor de prelucrare asupra contracției: t_{pul} - timpul presiunii ulterioare; p_{ul} - presiunea ulterioară; p_i - presiunea de injectare; T_M - temperatura matriței; T_m - temperatura materialului; v_i - viteza de injectare.

procentului de fază amorfă. Postcontracția la polimerii amorfi este foarte mică și poate fi neglijabilă, punându-se semnul de egalitate între contracția totală și contracția structurală.

Contracția și postcontracția depind de următorii factori în timpul procesului de prelucrare [2]:

- materialul termoplastic cu care se lucrează;
- modul de umplere a matriței în măsura în care aceasta determină presiunea și temperatura în masa de formare în matriță;
- condițiile de răcire în matriță (presiunea, temperatura pereților matriței și viteza de eliminare a căldurii);
- forma piesei cu influența ei asupra condițiilor de umplere (drum de curgere) grosime de pereți și condițiile de răcire;
- matrița în ceea ce privește modul de temperare și conducerea căldurii.

Parametrii importanți ai procesului de injectare care influențează contracția pot fi urmăriți în *fig.5.80.*

Contracțiile unei piese injectate pot fi longitudinale (pe direcția de curgere) sau transversale (perpendicular pe direcția de curgere) (*fig.5.81*). Între cele două contracții apar diferențe în procesul de prelucrare care depind de:

- material, respectiv dependența contracției sale de grosimea pereților (*fig.5.82*);
- umplerea matriței, măsura în care aceasta este influențată de diferența de temperatură a materialului plastic, modul și poziția sistemului de injectare, modul de comutare a presiunii ulterioare, viteza de umplere, distribuția presiunii ulterioare, viteza de umplere, distribuția presiunii și a temperaturii în matriță;
- condițiile de răcire în matriță: distribuția temperaturii în pereții matriței, viteza locală de eliminare a căldurii, etc.;
- forma piesei în măsura în care aceasta prin grosimea pereților influențează condițiile de răcire, variația grosimii pereților, etc.

Diferența între contracțiile longitudinale și transversale pentru diferite materiale poate fi urmărită în *fig.5.83.*

Contracția liniară a unei piese injectate se definește prin relația

$$C_l = \frac{l_m - l}{l_m} = 1 - \frac{l}{l_m}, \tag{5.69}$$

unde:

- l_m - dimensiunea matriței la temperatura camerei;
- l - lungimea piesei injectate la temperatura camerei.

Contracția volumică a unei piese injectate se definește prin relația

$$V_l = \frac{V_m - l}{V_m} = 1 - \frac{V}{V_m}, \tag{5.70}$$

unde:

- V_m - volumul matriței la temperatura camerei;
- V - volumul piesei injectate la temperatura camerei.

Dacă se presupune că pe toate cele trei direcții contracția este identică (contracție izotropică), contracția liniară C_l se poate calcula cu relația aproximativă

$$C_l = 1 - \sqrt[3]{1 - C_v} \approx \frac{1}{3} C_v. \tag{5.71}$$

În practică doar în cazuri speciale se poate considera contracția izotropică, în majoritatea cazurilor contracția este anizotropică.

Contracția volumică în timpul răcirii poate fi studiată consultând *fig.5.84* și *fig.5.85.* În *fig.5.85* temperatura la care se atinge presiunea mediului înconjurător este temperatura punctului *7.* În acest punct volumul piesei corespunde cu volumul matriței (cuibului). După atingerea presiunii mediului (camerei), la scăderea în continuare a temperaturii, piesa se desprinde de peretele matrței și se contractă până la temperatura mediului, corespunzător punctului *10.* Diferența dintre punctele *7* și *10* reprezintă contracția volumică, sau contracția de prelucrare [2].

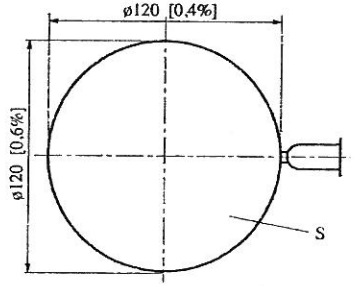


Fig.5.81. Punerea în evidență a diferenței dintre contracția longitudinală și cea transversală (placă rotundă, Durethan BK 30, S=3mm).

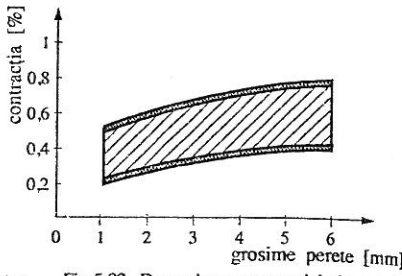


Fig.5.82. Dependența contracției de grosimea peretelui la acetat de celuloză (Celidor).

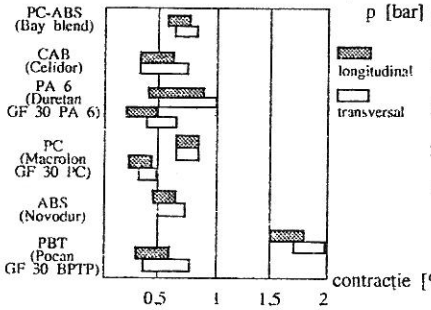


Fig.5.83. Contracții longitudinale și transversale pentru diferite materiale (grosime de perete S=2mm)

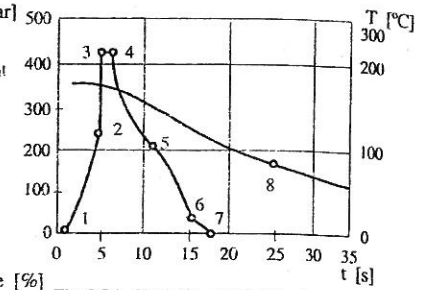


Fig.5.84. Variația presiunii și temperaturii în matriță (polistiren): a - presiunea în matriță; b - temperatura medie în matriță; punctele 1...8 au semnificația din *fig.5.85.*

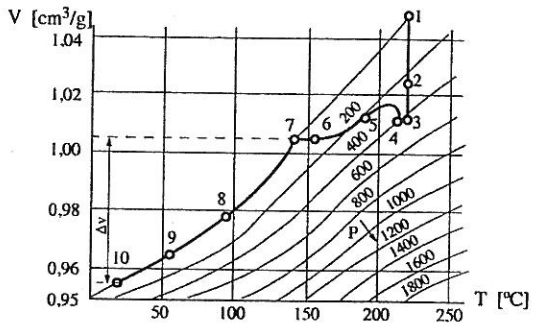


Fig.5.85. Diagrama p-v-T: ΔV - contracția volumică; 0 - melcul începe mișcarea; 0...1 - timp mort; plastifierea și mișcarea topiturii în culee; 1 - începutul presiunii; 1...2 - umplerea matriței; 2 - volumul matriței umplut; 2...3 - compactizarea topiturii; 3 - atingerea presiunii maxime; 4 - comutarea presiunii ulterioare; 4...5 - pierdere de presiune prin presiunea de umplere; 5 - se atinge nivelul presiunii ulterioare; 5...6 - pierdere continuă de presiune; compensarea contracției volumice în timpul răcirii prin decompresie; prin presiune ulterioară mai departe, topitura rămâne la acest volum în cuibul matriței; 6 - punct de sigilare; 6...7 - pierdere de presiune numai prin răcire; 7 - atingerea presiunii atmosferice; începerea contracției; 7...10 - răcire izobară; 8 - temperatura de solidificare în punctul de măsurare; 9 - demularea; 10 - atingerea temperaturii camerei.

5.3.3. Influența parametrilor de prelucrare asupra preciziei piesei injectate

Piesele tehnice injectate din materiale termoplastice trebuie să corespundă scopului pentru care sunt construite necesitând o mare stabilitate dimensională. Calitatea unei piese, stabilitatea sa dimensională, depinde de o serie de factori de influență în timpul procesului de injectare.

Procesul de injectare se poate prezenta ca un sistem alcătuit din mașina și matrița de injectat, sistem de tip informatic (*fig.5.86*). Sistemul se caracterizează prin mărimi de intrare, mărimi de ieșire, parametri și mărimi perturbatoare (*fig.5.87*). Prin analiza sistematică a dependețelor dintra mărimile de intrare și mărimile de ieșire este posibilă o optimizare a procesului.

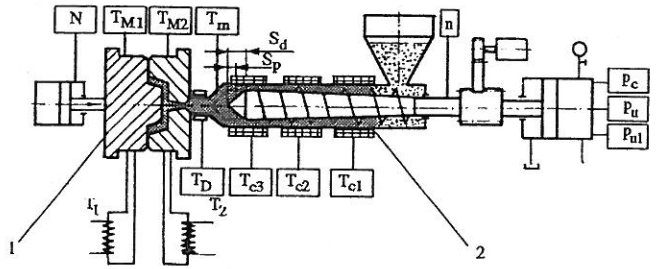


Fig.5.86. Schemă simplificată a sistemului de injectare: 1 - matriță; 2 - mașină.

5.3.3.1. Parametrii sistemului

Variația dimensională și de greutate a piesei injectate se datorește următorilor factori:

- mașina de injectat (precizia comenzii și reglării, uzură, reproductibilitate);
- comportarea materialului termoplastic (amorf sau cristalin, armare cu fibră de sticlă, etc.);
- concepția piesei injectate (amplasarea punctului de injectare, dimensiunea digului, repartiția grosimii pereților, etc.)
- condiții de injectare (reglarea mașinii, derularea producției);
- execuția și toleranța matriței.

Prin parametrii, în acest contaxt, se înțeleg factori de influență care vor fi menținuți constați ca mărime. Stabilirea lor calitativă se sprijină pe observațiile din practică și lucrările experimentale.

Mașina de injectat. Mașinile de injectat indicate pentru fabricarea unor piese injectate de calitate trebuie să îndeplinească, pe cât posibil, următoarele condiții:

- acționarea melcului prin motor hidraulic. Motoarele hidraulice permit o reglare fără trepte a turației și oferă o protecție eficace la suprasarcină a materialului plastifiat din cilindru;
- melc dotat cu clapetă antiretur;
- duză cu autoînchidere prin comandă exterioară. Cele mai potrivite sunt duzele cu închidere hidraulică;
- comanda hidraulică a timpului;
- comanda electronică;
- reglaj electronic al temperaturii la cilindrul de injectare (precizie ±2°C);
- grad ridicat de utilizare al cursei de dozare (aproximativ 60...70%);
- posibilitatea reglării temperaturii uleiului din rezervor în scopul menținerii oscilațiilor de temperatură cât mai mici posibil;
- asigurarea forței de închidere necesară.

Materialul termoplastic. Materialele termoplastice amorfe, semicristaline sau cristaline au proprietăți diferite (capitolul 1). Contracția volumică este influențată foarte puțin la termoplastele amorfe de distribuția moleculară, dar la termoplastele cristaline sau semicristaline contracția volumică este influențată permanent de structura moleculară. De asemenea, este important dacă materialul termoplastic este cu adaos de umplutură, armat, cu pigmenți, etc. Prezența unor adaosuri modifică comportarea la contracție.

Structura piesei. Structura piesei este importantă în păstrarea stabilității și calității piesei injectate. Astfel, se impun câteva reguli de bază:

- la construcția piesei se impune o demulare ușoară. Înclinațiile de perete trebuie alese corect (cap. 5.1.10);
- uniformitatea grosimii pereților împiedică aglomerarea de material. Se utilizează soluții constructive de rotunjire a colțurilor nervurii de rigidizare (cap. 5.15).

Rețeaua de injectare. Poziția și dimensiunile sistemului de injectare nu mai pot fi alese astăzi, la fabricarea pieselor de precizie, doar din considerente economice. Tot mai mult se iau în considerare principii tehnico-economice. Există multiple variante constructive de sisteme de injectare (cap. 6.3).

5.3.3.2. Mărimi de intrare și de ieșire

Schema sistemului informatic matriță - mașină este prezentată în *fig.5.87.*

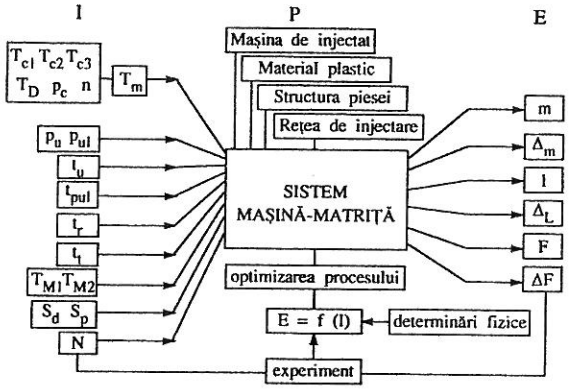


Fig.5.87. Sistemul matriță - mașină de injectat:
I - mărimi de intrare (T_{c1}...T_{c3} - temperaturile cilindrului de injectare, T_D - temperatura duzei, p_c - contrapresiunea la dozare, n - rotația melcului, T_m - temperatura materialului, p_u - presiunea de umplere, p_{ul} - presiunea ulterioară, t_u - timpul de umplere, t_{pul} - timpul presiunii ulterioare, t_r - timpul de răcire, t_t - timpul total, T_{M1}, T_{m2} - temperaturile matriței, δ_p - perna de material, N - forța de închidere a matriței); P - parametri; E - mărimi de ieșire (m - masa piesei injectate, Δ_m - dispersia masei piesei, I - dimensiunea, Δ_L - dispersia dimensională, F - abaterea de formă, ΔF - dispersia abaterii de formă).

Mărimile de intrare *I* ale sistemului sunt multiple. Prin modificarea mărimilor de intrare se modifică mărimile de ieșire. Aceste modificări trebuie înțelese atât ca valori absolute cât și ca evoluții în timp (funcție de transfer). Cunoașterea funcției de transfer este necesară pentru dirijarea procesului de injectare și comandarea corectă.

Mărimile de ieșire *E* sunt în număr limitat. Ele sunt mărimi calitative (greutatea, dimensiunea și abaterea de formă a piesei injectate).

5.3.3.3. Mărimi perturbatoare

Mărimile perturbatoare sunt mărimi de intrare în sistemul mașină - matriță de injectat care nu se pot regla. Din această categorie fac parte:

- influențele de mediu (temperatură, curent de aer, umiditate, aer);
- întreruperi de ciclu (pauze, măsurători);
- oscilații de tensiune ale rețelei;
- încălzirea inadmisibilă a uleiului hidraulic;
- scăpări prin duza de injectare.

Prin observarea atentă a mărimilor de ieșire se pot cunoaște influențele mărimilor perturbatoare în timpul fabricației și se pot înlătura.

5.3.3.4. Optimizarea procesului

Legătura dintre mărimile de intrare și mărimile de ieșire se stabilește în majoritatea cazurilor prin încercări.

Mărimile de intrare sunt modificate pas cu pas, iar mărimile de ieșire se stabilesc după atingerea unor valori constante.

În acest mod se stabilesc funcții empirice

$$E = f(I). \tag{5.72}$$

Aceste funcții se reprezintă grafic. Relația stabilită astfel empiric trebuie interpretată fizic pentru a înțelege procesul. Interpretarea fizică a rezultatelor urmată optimizării procesului are ca scop de a oferi prelucrătorului indicații clare privind valorile prescrise la intrare și reglajul mașinii în vederea obținerii unei piese optime din punct de vedere tehnico-economic.

5.3.3.5. Mărimi de intrare independente de piesa injectată

Temperatura materialului termoplastic și temperatura matriței sunt mărimi de intrare independente în raport cu piasa injectată, adică valorile prescrise pentru prelucrare optimă sunt independente față de configurația piesei, lungimea drumului de curgere, etc.

Temperatura materialului T_m. Prin temperatura materialului se înțelege temperatura topiturii la ieșirea din duză.

Temperatura T_m este unul din principalii factori care exercită o influență asupra abaterilor dimensionale a unei piese injectate. Temperatura materialului se poate scrie ca o funcție a mai multor mărimi de intrare

$$T_m = f(T_{c1}, T_{c2}, T_{c3}, p_c, n). \tag{5.73}$$

Deși în practică se încearcă a se obține temperatura dorită a materialului printr-un reglaj teoretic a încălzirii cilindrului și duzei, trebuie însă să se țină seama de turația melcului și contrapresiunea la plastifiere p_c.

Datorită forfecării interne a materialului precum și datorită frecărilor din cilindrul mașinii, temperatura materialului crește o dată cu creșterea turației și a contrapresiunii. Din acest motiv se acordă atenție stabilirii vitezei periferice a melcului. Folosind diagrama viteză - turație (*fig.5.88*) sau formula de calcul (5.74) se poate determina turația melcului pentru o viteză periferică aleasă

$$n = \frac{60v}{\pi d_m} = \frac{1,92}{d_m} \quad [rot/min], \tag{5.74}$$

unde:

- v - viteza periferică a melcului [m/s];
- d_m - diametrul melcului [mm].

La o temperatură a cilindrului corect reglată, la turații prea mari ale melcului, materialul termoplastic se poate degrada termic.

Prin folosirea contrapresiunii p_c se îmbunătățește omogenitatea topiturii, însă cresc frecările interne, ceea ce determină creșterea temperaturii.

Zonele cilindrului și duza se reglează la o temperatură prescrisă pentru fiecare tip de material cu ajutorul unor termoregulatoare (capitolul 1).

Temperatura materialului are în procesul de injectare influență asupra contracției, dimensiunilor și greutății, precum și asupra dispersiei dimensionale și greutății pieselor injectate (*fig.5.89*). Se observă că o dată cu creșterea temperaturii T_m:

- scade dispersia de masă și dispersia dimensională;
- scade contracția.

În grafic se observă de asemenea o plajă recomandată între T_1 și T_2.

Temperatura matriței T_M. Temperatura matriței influențează structura piesei injectate, proprietățile mecanice și dispersia dimensională. O dată cu creșterea temperaturii

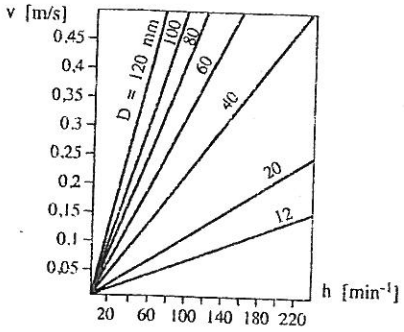


Fig.5.88. Viteza periferică v a melcului în funcție de turația n și diametrul D al melcului pentru o poliformaldehidă (Hostaform).

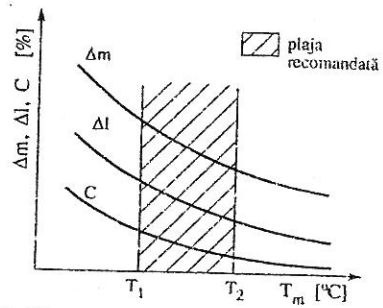


Fig.5.89. Variația dispersiei dimensionale ΔL, dispersiei masei Δm și contracției C în raport cu temperatura materialului plastic T_m.

matriței se reduce orientarea macromoleculară (anizotropia), structura apropiindu-se de starea de echilibru.

Analiza comportării dimensionale și a contracției pieselor injectate în raport cu temperatura este prezentată în *fig.5.90*. Din figură se observă că o dată cu creșterea temperaturii scade atât dispersia dimensională cât și contracția piesei, înregistrându-se valori minime la temperatura de temperare a matriței T_2.

5.3.3.6. Mărimile de intrare dependente de piesa injectată

Presiunea de umplere p_u și presiunea ulterioară p_{ul}. Presiunea de umplere (presiunea de injectare) și presiunea ulterioară sunt factori importanți de influență asupra preciziei piesei injectate.

În *fig.5.91* este prezentată variația presiunii de umplere în raport cu masa, dimensiunea, dispersia de masă și dimensiune. Deoarece calitatea piesei injectate (precizia dimensională și de masă) este determinată de presiunea de umplere, trebuie să se realizeze reproductibilitatea exactă a variației de presiune. În baza variației presiunii din interiorul matriței se pot adopta criterii corespunzătoare de calitate în procesul de realizare a pieselor injectate. În capitolul 2 se prezintă detaliat influențele parametrilor de prelucrare asupra variației presiunii interioare.

Cu ajutorul presiunii ulterioare se compensează parțial contracțiile volumice din timpul procesului de răcire. O dată cu creșterea presiunii ulterioare se realizează o reducere

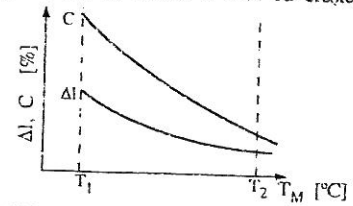


Fig.5.90. Variația dispersiei dimensionale ΔL și contracției C în raport cu temperatura matriței T_M.

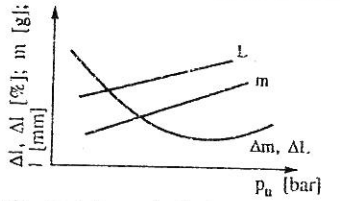


Fig.5.91. Variația presiunii de umplere p_u, în raport cu masa m, dimensiunea L, dispersia de masă Δm și dispersia de dimensiune ΔL.

clară a dispersiei dimensionale și de greutate. Cele mai bune rezultate se obțin când presiunea ulterioară este egală cu presiunea interioară.

Numeroase cercetări privind relația dintre presiunea de umplere, dispersia dimensională și caracteristicile mecanice au arătat că există o presiune de umplere, respectiv presiune ulterioară optimă în funcție de piesă [14]. Poziția optimului de presiune este influențată de o mulțime de factori dintre care cei mai importanți sunt: temperatura materialului, temperatura matriței, viteza de injectare, dimensiunile rețelei de injectare, raportul dintre drumul de cugere și grosimea pereților. În *fig.5.92* este prezentat cazul presiunii de umplere optime în legătură cu calitatea optimă a piesei injectate.

Timpul de umplere t_u. Încercările și considerentele teoretice au arătat că caracteristicile de calitate ale unei piese injectate depind de durata umplerii matriței t_u. Cele două etape fizice ale acestei faze sunt:

- evacuarea căldurii către pereții reci ai matriței;
- orientarea macromoleculelor datorită tensiunilor de forfecare.

La piese cu pereți subțiri optimul de calitate este situat la timpi reduși de umplere și se deplasează spre valori mai mari o dată cu creșterea grosimii pereților (cap. 2).

Timpul presiunii ulterioare t_{ul}. La o culee sau un dig de injectare corect alese, materialul plastic pătruns în matriță se întărește începând din zonele cele mai îndepărtate de culee, procesul de solidificare încheindu-se cu sigilarea culeei. Contracția volumică în matriță este compensată de materialul topit nou ca urmare a existenței presiunii ulterioare.

Timpul optim de presiune ulterioară se poate stabili măsurând greutatea. Prin variarea timpului de presiune ulterioară se determină momentul în care greutatea măsurată este maximă (*fig.5.93*).

Timpul de presiune ulterioară influențează masa, dispersia de masă, dispersia dimensională și contracția (*fig.5.94*). Timpul presiunii ulterioare este dependent de temperatura matriței, presiunea de umplere și presiunea ulterioară.

Cu cât crește presiunea de umplere, masa piesei injectate devine mai mare și timpul de presiune optimă se micșorează (*fig.5.95*).

Două faze joacă un rol important în determinarea presiunii ulterioare optime:

- temperatura de cristalizare crește o dată cu creșterea presiunii;
- la o temperatură înaltă, contracția volumică e mai bine compensată și

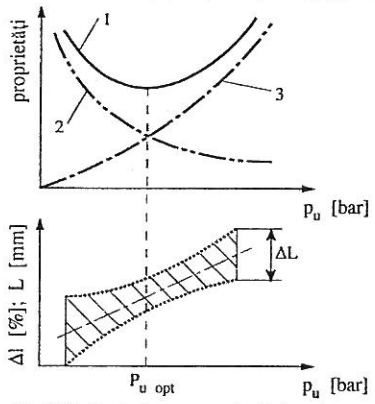


Fig.5.92. Optimizarea presiunii interioare: 1 - calitatea piesei; 2 - defecte de umplere; 3 - tensiuni interne.

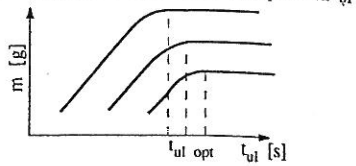


Fig.5.93 Timpul menținerii presiunii ulterioare optimizat, obținut prin încercări.

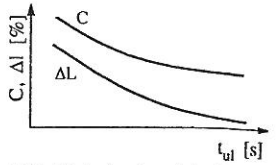


Fig.5.94. Variația timpului de presiune ulterioară t_{ul} în raport cu contracția C și dispersia dimensională ΔL a piesei injectate.

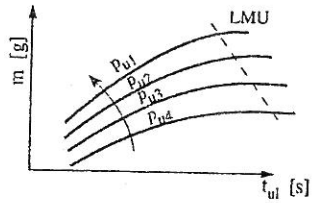


Fig.5.95. Variația timpului presiunii ulterioare t_{ul} în raport cu masa piesei injectate m ($p_{ul} = p_u$): LMU - linie maximă de umplere.

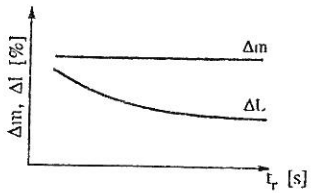


Fig.5.96. Variația timpului de răcire t_r, în raport cu dispersia mase Δm și dispersia dimensională ΔL a piesei injectate.

deformarea piesei mai redusă.

Cursa de dozare S_d și perna de material S_p. Cazul injectării cu pernă de material sau fără pernă de material au fost studiate în capitolul 2.2.4. Acolo s-a observat influența cursei dozării (punctul de reglare al cursei de dozare) și al pernei de material (diferența dintre punctul de reglare al cursei de dozare și punctul de umplere) asupra masei și proprietăților reperului.

Forța de închidere a matriței N. Forța de închidere necesară se calculează plecând de la suprafața proiectată a piesei, presiunea de injectare și viteza de injectare. În principiu, forța de închidere trebuie să aibă o asemenea valoare încât deschiderea matriței să nu depășească valoarea de 0,3 mm.

Timpul de răcire t_r (timpul total t_t, temperaturile matriței T_{M1}, T_{M2}). Această mărime are influență asupra contracției, postcontracției, tensiunilor interne, orientări, calitate a suprafeței (capitolul 2.5, capitolul 5.3.1). Influența timpului de răcire (timp de pauză) asupra dispersiei de masă și dispersiei dimensionale este prezentată în *fig.5.96.*

5.3.4. Injectarea pieselor de precizie

Obținerea pieselor injectate cu precizie ridicată impune următoarele condiții:

- existența unei mașini potrivite de injectare cu posibilități de reglare și de comandă;
- respectarea unui program logic de pornire; parametrii de prelucrare trebuie reglați într-o anumită ordine;
- controlul atent al condițiilor de prelucrare prin cântăriri și măsurători dimensionale succesive.

Dacă condițiile referitor la mașina de injectat sunt respectate, se trece la executarea unui program logic de pornire:

- pentru u anumit material termoplastic se reglează prima dată mărimile de intrare independent de piesă, T_M și T_m;
- în treapta a doua de reglaj se aleg mărimile dependente de piesă (p_u, t_u, t_{pul}, t_r, N, S_d, S_p).

Presiunea de umplere este luată drept variabilă independentă. Timpul de presiune ulterioară, viteza de injectare, etc. se reglează la fiecare reglaj de presiune.

- greutatea piesei se determină și se compară cu valoarea prescrisă.

La abateri mici de greutate, presiunea de umplere (ulterioară) se reglează fin până la atingerea greutății prescrise.

La abateri mari trebuiesc verificate celelate condiții (temperatură, timpi, etc.). Dispersia

greutății pieselor nu dă indicații despre dispersia dimensională, însă se poate afirma că dispersia dimensională mică se obține numai la dispersii mici ale greutăților. De exemplu la propilenă și polifenilenoxid dispersia dimensională este de 0,05...0,15% dacă dispersia de greutate este de 0,1...0.5% [5].

Schema logică de reglare a parametrilor este prezentată în *fig.5.97.*

Cerințele referitoare la menținerea dimensiunilor unei piese injectate cresc o dată cu folosirea pieselor din masă plastică în domenii din ce în ce mai pretențioase (mecanică fină, automatizări, etc.).

Ca și la piesele obținute prin prelucrări mecanice, piesele injectate prezintă abateri de la dimensiunile nominale.

Dimensiunea nominală se notează cu N și este valoarea luată ca bază pentru a caracteriza o anumită dimensiune, indiferent de diferențele admise datorate procesului tehnologic.

Dimensiunea efectivă se notează cu E și este dimensiunea a cărei valoare se constată prin măsurarea piesei după aruncarea din matriță.

Dimensiunile limită sunt acelea între care poate varia dimensiunea efectivă. Ele pot fi maxime sau minime și se pot nota L_{max}; L_{min}; D_{max}; D_{min}. Diferențele dintre dimensiunea efectivă și cea nominală se numesc abateri.

Abaterea efectivă se notează cu A și este diferența dintre dimensiunea efectivă și dimensiunea nominală

$$A = E - N. \tag{5.75}$$

Abaterea superioară A_s este diferența dintre o dimensiune maximă și dimensiunea nominală

$$A_s = D_{max} - N. \tag{5.76}$$

Abaterea inferioară A_i este diferența dintre o dimensiune minimă și dimensiunea nominală

$$A_i = D_{min} - N. \tag{5.77}$$

Toleranța se notează cu T și este diferența dintre dimensiunea maximă și dimensiunea minimă

$$T = D_{max} - D_{min}. \tag{5.78}$$

Câmpul de toleranță este zona cuprinsă între dimensiunea maximă și dimensiunea minimă, iar înălțimea câmpului de toleranță corespunde toleranței pieselor injectate.

Linia zero în reprezentările grafice este linia de referință față de care se măsoară abaterile. Poziția ei este determinată de dimensiunea nominală.

În *fig.5.98* este prezentat câmpul de toleranță al unei piese injectate. La formarea câmpului de toleranță al unei piese concură mai mulți factori: matrița, comportarea materialului, construcția piesei, condițiile de prelucrare și condițiile de funcționare.

Cu ajutorul metodelor statistice se determină, pentru cotele care interesează la fiecare reglare de presiune, o valoare medie $\bar{x}$ și abaterile standard $\pm 3s$ (*fig.5.99*). Mărimea dispersiei cotelor va fi $6s$ și cuprinde 99,97% din toate valorile măsurate.

Mărimea dispersiei dimensionale la fabricație pentru o piesă injectată va fi dată de formula

$$\bar{x} \pm 3s. \tag{5.79}$$

Toleranța de serviciu (funcționare) se definește de relația

$$T_s = T_F + \Delta\bar{x}_s, \tag{5.80}$$

unde:

- T_F - toleranta de fabricație;
- $\Delta\bar{x}_s$ - fluctuația cotei nominale de funcționare (serviciu).

Toleranța de fabricație este determinată de variația dimensională inerentă procesului de fabricație. Ea se poate determina la 24 de ore după injectare în condiții climaterice normalizate (20°C și 50% umiditate relativă).

Dispersia cotelor obținute prin fabricație trebuie să se situeze la interiorul unei

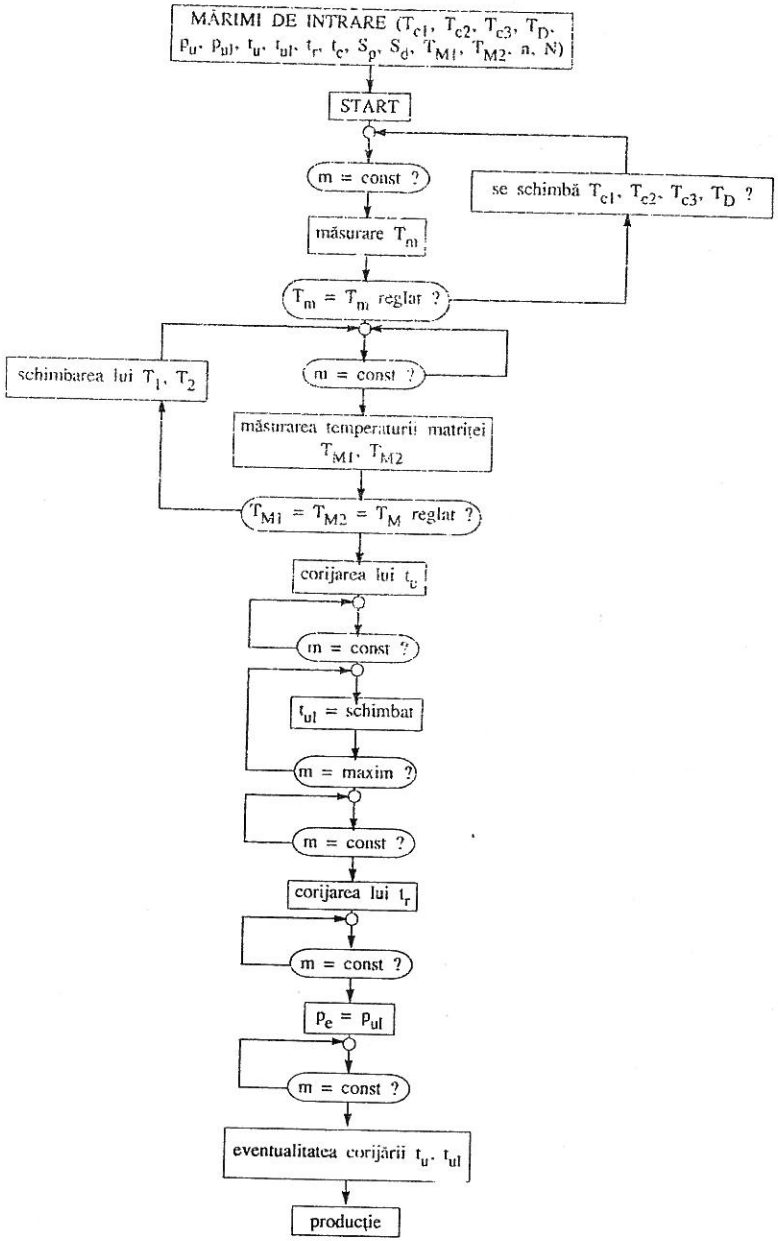


Fig.5.97. Program logic de reglare la o mașină de injectat ($p_u = p_{ul}$).

toleranțe reale prealabil impuse

$$T_F \geq 6s \tag{5.81}$$

Din relația (5.81) și relația (5.80) se observă toleranța de serviciu

$$T_s \geq 6s. \tag{5.82}$$

Se pot distinge trei cazuri pentru toleranța de fabricație T_F:

- injectare normală, $T_F < 1\%$;
- injectare tehnică, $T_F < 0{,}6\%$;
- injectare de precizie, $T_F < 0{,}3\%$.

Pentru cotele nominale obișnuite, mai mari de 10 mm, toleranța este o funcție liniară, iar pentru cotele nominale mai mici de 10 mm, toleranța are altă alură (*fig.5.100*).

Piesele injectate sunt folosite în condiții de exploatare la alte temperaturi decât cea

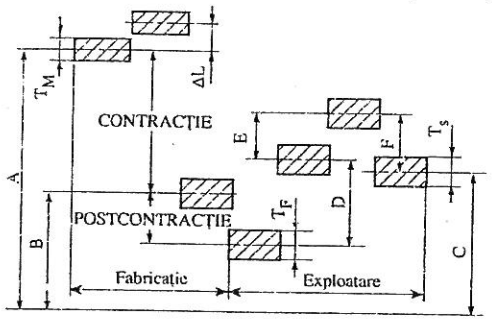


Fig.5.98. Câmpul de toleranță a unei piese injectate: A - dimensiunea matriței la 20°C; B - dimensiunea piesei injectate la 20°C; C - dimensiunea piesei injectate în condiții de utilizare; D - absorbția de umiditate; E - variația de temperatură; F - încărcarea; T_f - toleranța de fabricație; T_s - toleranța de serviciu; T_M - toleranța matriței; ΔL - dilatația termică a matriței.

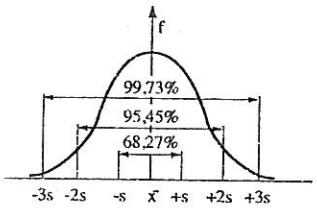


Fig.5.99. Distribuția Gauss: f - frecvența; s - valoarea standard a abaterii [mm]; x̄ - valoarea medie [mm].

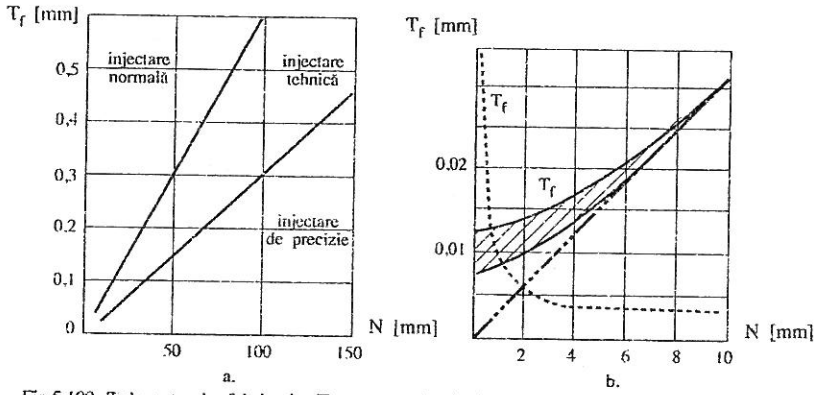


Fig.5.100. Toleranța de fabricație T_F pentru piesele injectate: a - cote nominale obișnuite (N>10mm); b - cote nominale mici (N<10mm); N - dimensiunea nominală..

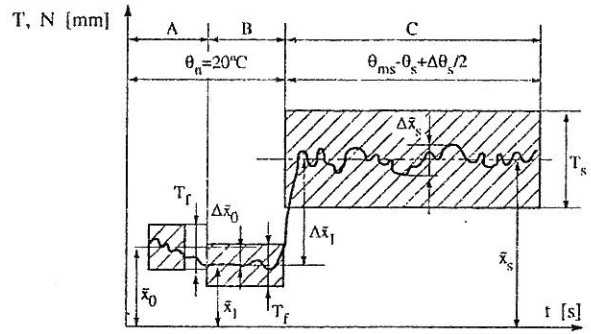


Fig.5.101. Variația dimensională și toleranțele piesei injectate în condiții de serviciu: $\bar{x}_0$ - dimensiune medie la 24 ore după fabricație; $\Delta\bar{x}_0$ - micșorare dimensională prin postcontracție; $\bar{x}_1$ - dimensiune medie după terminarea postcontracției; $\Delta\bar{x}_1$ - variație de dimensiune la temperatura medie de serviciu; $\bar{x}_s$ - dimensiune medie la temperatura de serviciu; $\Delta\bar{x}_s$ - variație dimensională prin temperatură și umiditate în condiții de temperatură; A - 24 de ore după fabricație; B - două luni după fabricație; C - domeniu de serviciu.

a mediului ambiant și sub sarcină.

Variația dimensională și toleranța unei piese injectate în raport cu timpul în condiții de exploatare este prezentată în *fig.5.101*.

La 24 de ore după fabricație, o piesă injectată se caracterizează prin cota reală medie $\bar{x}_0$.

Cotele reale se stabilizează mai târziu, la două luni, în condiții climaterice normale.

Cotele de serviciu (de utilizare) variază în funcție de temperatura de utilizare (θ_s < 80°C) și este diferită de temperatura normalizată (θ_n = 20°C).

Trebuie de asemenea să se țină seama de variația temperaturi în raport cu temperatura de utilizare medie

$$\theta_s \pm \frac{\Delta\theta_s}{2}. \tag{5.83}$$

Plecând de la cotele reale, măsurate la 24 de ore după injectare, se pot calcula cotele nominale $\bar{x}_s$ la temperatura medie (*fig.5.101*)

$$\bar{x}_s = \bar{x}_0 - \Delta\bar{x}_0 + \Delta\bar{x}_1, \tag{5.84}$$

$$\bar{x}_s = \bar{x}_0 - a\bar{x}_0 + \alpha_2\bar{x}_0(\theta_s - 20°C). \tag{5.85}$$

Relația (5.85) se mai poate scrie

$$\bar{x}_s = \bar{x}_0[1 - a + \alpha_2(\theta_s - 20°C)], \tag{5.86}$$

unde:

- $\bar{x}_0$ - cota reală medie a piesei injectate la 20°C;
- a - coeficient pentru postcontracție și absorbția de umiditate după transformare optimă;
- α_2 - coeficient de dilatație liniară în domeniul 20°C...θ_s;
- θ_s - temperatura de utilizare medie.

Valorile pentru coeficientul a se determină din grafice în funcție de temperatură pentru diferite materiale termoplastice (a = 0,005...0,01).

Pentru un poliacetal (Hostaform) se prezintă în *fig.5.102* variația coeficientului în funcție de temperatură.

Toleranță de serviciu T_s trebuie să fie respectată în condiții de utilizare determinate. Dispersia dimensională pentru piesa injectată în condiții de serviciu este dată de relația

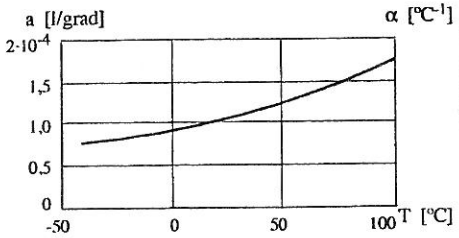


Fig.5.102. Variația coeficientului a pentru un poliacetal (Hostaform) în funcție de temperatură.

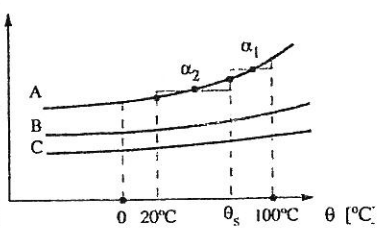


Fig.5.103. Variația coeficientului de dilatare liniară în raport cu temperatura pentru diferite materiale termoplastice; A, B, C - curbe de variație pentru 3 materiale diferite.

$$x_s \pm \frac{T_s}{2}. \tag{5.87}$$

Între toleranța de serviciu și cea de fabricație, ținând cont de relația (5.80), se poate scrie

$$T_s = T_F + \Delta\bar{x}_s + b\bar{x}_s, \tag{5.88}$$

$$T_s = T_F + \bar{x}_s(b + \alpha_l\Delta\theta_s). \tag{5.89}$$

unde:

- T_F - toleranța de fabricație;
- $\bar{x}_s$ - dimensiunea medie în condiții de serviciu;
- α_l - coeficient de dilatație liniară la temperatura medie de serviciu θ_s;
- b - coeficient pentru absorbția de umiditate.

Coeficientul de dilatație liniară α_l se obține din grafice pentru diferite materiale termoplastice la temperatura de serviciu (*fig.5.103*).

5.4. Defectele pieselor injectate

Pieselor injectate din materiale termoplastice li se impun condiții de estetică, rezistență, funcționalitate, ceea ce determină o atenție deosebită la alegerea materialului, concepția piesei, concepția matriței și alegerea parametrilor prelucrării ce țin de mașina de injectat și matriță. În practică pot fi observate frecvent unele defecte ale pieselor injectate, defecte ce vor fi prezentate în continuare.

5.4.1. Contracții, deformări, retasuri

Contracția și postcontracția materialului plastic determină dimensiunile finale ale piesei injectate. Aprecierea corectă a contracției unei piese injectate este totdeauna dificilă. Luând în considerare factorii de influență (capitolul 5.3.1) se poate spune că contracția crește atunci când:

- temperatura materialului plastic topit crește;
- presiunea de injectare, presiunea ulterioară și timpul de menținere a presiunii ulterioare se micșorează;

- viteza de injecție se micșorează;
- temperatura matriței crește;
- grosimea pereților crește;
- secțiunea digului de injecție se micșorează.

Piesele injectate se contractă diferit pe cele două direcții de curgere (*fig.5.104*).

Dezechilibrul dintre cele două contracții crează în piesa injectată tensiuni care determină în unele cazuri deformarea ei. Astfel, în *fig.5.104.a* injectarea plăcii dreptunghiulare se face punctiform, în piesa injectată manifestându-se diferența cea mai mare între contracția longitudinală și cea transversală. Se creează astfel posibilitatea deformării piesei injectate. În *fig.5.105* este prezentat cazul unui disc de polietilenă care în urma injectării s-a deformat. Acest fel de deformare este specific materialelor termoplastice la care contracția pe direcție transversală curgerii (y) este mai mare decât cea pe direcția curgerii (x). O astfel de injectare este nerecomandată pentru poliolefine.

În cazul injectării discului în același mod dar din materiale amorfe, diferența de contracție pe cele două direcții este mică, deformarea este nesemnificativă și injectarea se consideră favorabilă.

În cazul în care materialul termoplastic este întărit cu fibră de sticlă, deformația acestuia crește; fibrele de sticlă se orientează pe direcția de curgere, diminuând contracția longitudinală, afectând foarte puțin contracția perpendiculară pe direcția fibrelor de sticlă și deci diferența dintre cele două contracții crește.

Forma piesei injectate, grosimea pereților, variația grosimii pereților, intersecția pereților, prezența nervurilor sunt elemente constructive care pot cauza deformații în piesa

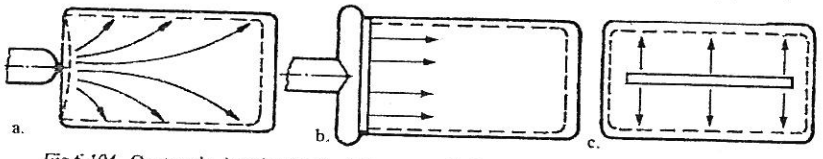


Fig.5.104. Contracția longitudinală și transversală în funcție de sistemul de injectare:
a - injectare punctiformă; b - injectare peliculară laterală; c - injectare peliculară centrală.

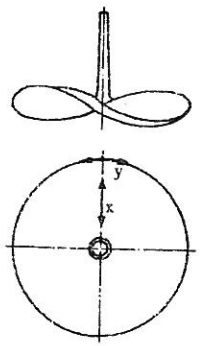


Fig.5.105. Deformația unui disc din polietilenă:
x - contracție pe direcția curgerii;
y - contracție transversală.

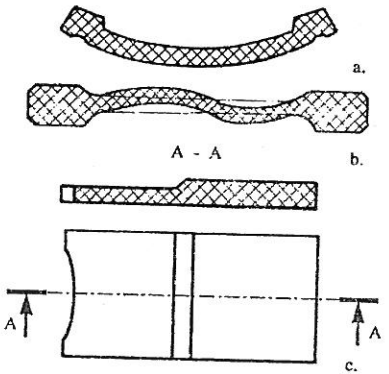


Fig.5.106. Deformarea piesei injectate:
a - placă cu nervuri laterale; b - disc cu nervură marginală; c - placă cu variație de grosime de perete.

injectată. Variația grosimii pereților la o piesă injectată determină deformări în funcție de forma constructivă a piesei injectate (*fig.5.106*). Prezența nervurilor în construcția unei piese injectate poate determina deformări care nu sunt de dorit (*fig.5.107*). De asemenea, la intersecția a doi pereți în cazul în care nu se face rotunjirea pereților, poate rezulta în unele cazuri o deformație (*fig.5.108*).

În *fig.5.108.a* este prezentată o cutie paralelipipedică injectată în zona centrală, care s-a deformat datorită diferențelor de contracție. O piesă corectă se obține prin îngroșare, îngroșând pregresiv pereții de la colțuri spre mijlocul fețelor (*fig.5.108.b*). În *fig.5.108.c* este prezentată o altă soluție constructivă care face să se producă umplerea simultană a tuturor părților externe ale piesei injectate, micșorând deformațiile.

În cazul unei cutii alungite injectată central se produce o deformare ca urmare a efectelor cumulate ale contracțiilor (*fig.5.109*). Pentru înlăturarea acestui defect se recomandă îngroșarea peretelui din fundul cutiei (*fig.5.109.b*).

Condițiile de răcire din matriță au o mare influență asupra deformării pieselor injectate. Diferențele de temperatură dintre cele două semimatrițe, între temperatura cuibului și a poansonului, între diferite puncte pe suprafața piesei, determină deformări în

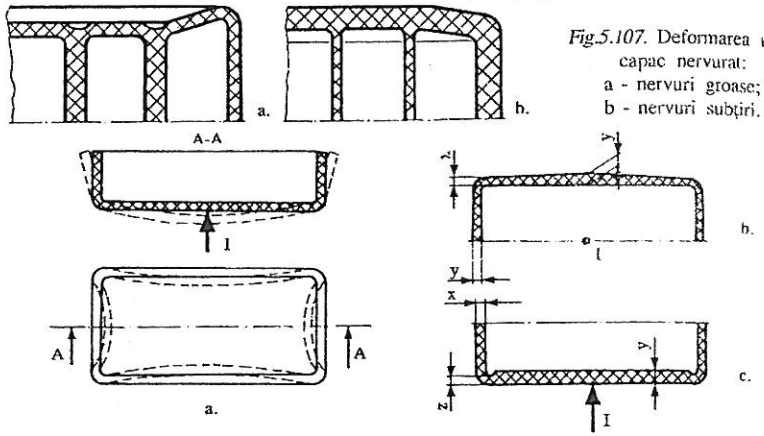


Fig.5.107. Deformarea unui capac nervurat:
a - nervuri groase;
b - nervuri subțiri.

Fig.5.108. Deformația unei cutii injectate:
a - piesă deformată; b - piesă cu pereți îngroșați în zona mediană ($y>x$);
c - piesă cu peretele îngroșat în zona injectării ($y>x$); I - loc de injectare.

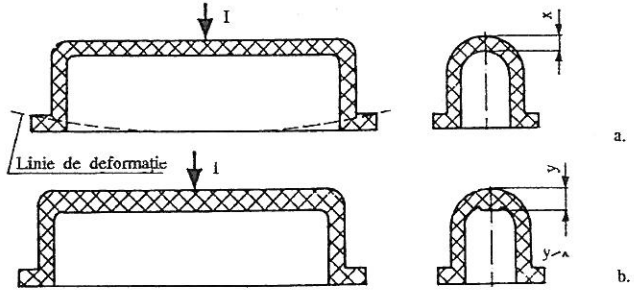


Fig.5.109. Deformația unei cutii alungite:
a - piesă deformată; b - piesă corect proiectată ($y>x$); I - loc de injectare.

piesa injectată (*fig.5.110*). Placa se va deforma convex spre peretele rece (T_2) deoarece în partea rece a matriței materialul plastic se întărește mai repede, iar contracția încetează, în timpm ce în partea caldă contracția continuă. În *fig.5.110.a* este prezentată deformarea unei plăci care a fost injectată în matriță având temperatura de răcire inegală pe cele două fețe. În *fig.5.110.b* este prezentată deformația unei piese injectate în formă de „U". Există două posibilități:

- în cazul în care T_2 este mai mic decât T_1 fundul se deformează ca în figură, exact după considerentele prezentate în cazul unei plăci. Pereții laterali se înclină spre interior datorită legăturii rigide cu fundul. Perpendicular pe această direcție a contracției apare o tensiune care atrage spre interior extremitățile profilului, rezultând astfel o deformare suplimentară a pereților laterali după un al doilea plan;
- în cazul în care T_2 este mai mare decât T_1, efectul va fi invers.

În *fig.5.110.c* este prezentată deformația unei piese injectate în formă de cutie. În cazul acestei piese, considerentele anterioare (*fig.5.110.b*) rămân valabile. În acest caz se remarcă suplimentar că extremitățile din colțuri sunt reținute în unghi, iar fundul determină într-o mare măsură deformarea pereților laterali.

Condițiile de injectare din matriță contribuie de asemenea la deformarea piesei injectate: sistemul de injectare, locul injectării, momentul trecerii la presiunea ulterioară, viteza de umplere.

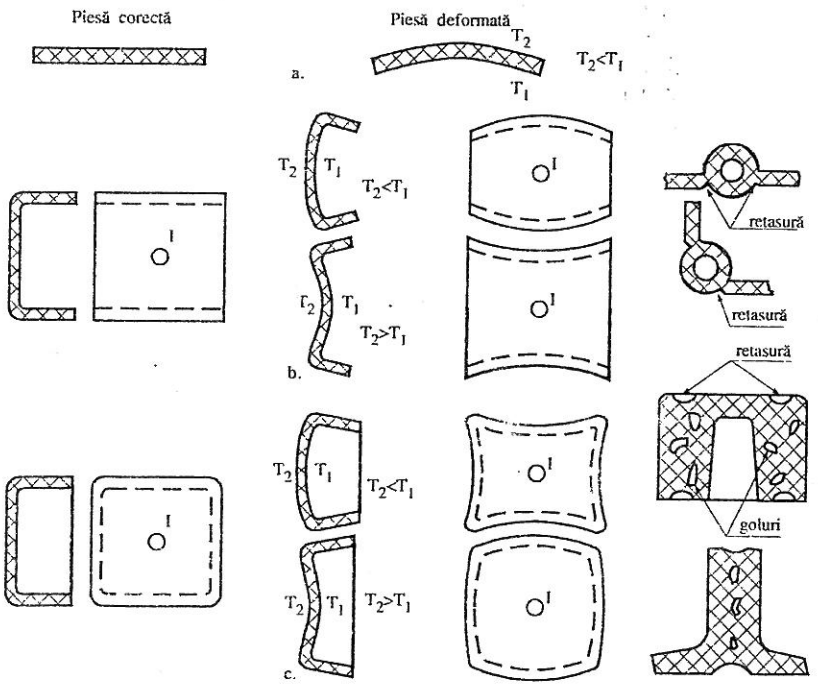


Fig.5.110. Influența temperaturii matriței asupra deformării piesei injectate:
I - locul injectării; T_1, T_2 - temperaturile pereților matriței.

Fig.5.111. Retasuri.

Se fac următoarele considerații:

- pentru a limita deformațiile care apar la o piesă injectată, alegerea locului injectării se face în așa fel încât fronturile de curgere să ajungă simultan la extremitățile cuibului;
- în cazul unor puncte de injectare multiple, limitele de întâlnire ale fronturilor de curgere favorizează deformația;
- viteza cu care materialul plastic topit pătrunde în cuib influențează asupra fronturilor de cugere.

Fronturile de curgere pot suferi stagnări datorită unor obstacole sau schimbări de direcție, stagnări care depind de viteza de curgere.

Pentru o umplere optimă este important momentul alegerii începerii presiunii ulterioare. Trecerea prea devreme la presiunea ulterioară poate să ducă la stagnări ale fronturilor de curgere; trecerea prea tardivă la presiunea ulterioară duce la creerea unor tensiuni în zona punctului de injectare.

Dacă la realizarea pieselor injectate există aglomerări de material (nervuri de întărire, bosaje) pe suprafața pieselor injectate apar contracții locale în forma unor mici adâncituri sau șanțuri care se numesc *retasuri*. Retasurile se produc ca urmare a faptului că materialul plastic topit aflat la interiorul zonei aglomerate deformează coaja exterioară deja întărită, obligând-o să participe la contracție. În zonele aglomerate se formează pe lângă retasuri și spații vidate (bule), fenomen întâlnit și în cazul în care piesa este scoasă prematur din matriță și aruncată în apă în vederea răcirii (*fig.5.111*). Retasurile depind de presiunea de injectare, presiunea ulterioară, viteza de injectare, temperatura de injectare, temperatura matriței, dimensiunile canalelor de alimentare, forma piesei injectate.

5.4.2. Zone de ardere

După scoaterea din matriță, unele piese injectate prezintă pe anumite porțiuni lipsă de material sau arsuri. La umplerea cuibului matriței cu material termoplastic, aerul care umplea cavitatea este comprimat și forțat să se strângă în anumite zone de refugiu în funcție de configurația piesei injectate. În aceste zone, datorită comprimării și supraîncălzirii aerului, cuibul nu se poate umple complet, iar materialul plastic este degradat.

Fenomenul de apariție al zonelor de ardere, numit și *efect Diesel*, este un fenomen care apare mai ales la piesele de o anumită formă (piese înalte cilindrice, piese fusiforme) injectate într-un anumit mod (injectare laterală). Fenomenul poate fi evitat folosind o viteză de injectare mai mică, precum și alte soluții constructive de aerisire a cuibului matriței (capitolul 6.7).

5.4.3. Exfolieri

În unele cazuri se observă dacă piesele au fost fabricate în condiții optime numai după utilizarea mai îndelungată în practică. Unul dintre aceste defecte îl constituie exfolierea suprafeței. Acest defect este întâlnit aproape la toate materialele termoplastice și poate avea cauze multiple, cum sunt:

- prezența unui material străin ramas în cantități mici în cilindrul mașinii de injectat și care provine de la o injectare ulterioară. Acest corp străin rămas în masa

materialului prelucrat, împiedică fuzionarea omogenă a materialului;

- agenți pentru desprinderea din matriță care au fost aplicați prin pulverizare sau ungere într-un strat prea gros și care în timpul operației de umplere a matriței se deplasează în masa injectată și astfel împiedică o fuzionare omogenă a fronturilor de curgere;
- temperatura scăzută a matriței față de temperatura înaltă a topiturii;
- viteza mică de injectare a mașinii;
- neuniformitatea de perete;
- formarea „jetului liber";
- umiditatea materialului plastic care se injectează.

Fenomenul de exfoliere se poate explica în felul următor. La umplerea matriței, materialul plastic topit se depune mai întâi pe pereții acesteia, în timp ce restul umplerii se realizează peste această coajă. Dacă temperatura este scăzută sau dacă umplerea decurge lent se va forma un strat limită rece care nu va putea fi înmuiat sau topit de materialul plastic care urmează. Astfel iau naștere diferite straturi cu viteze de solidificare diferite, care nu sunt înmuiate omogen și care duc la apariția tensiunilor proprii.

5.4.4. Urme de curgere

Urmele de curgere sunt defecte de suprafață foarte des întâlnite la injectarea pieselor din materiale termoplastice. De foarte multe ori geometria piesei determină alegerea unui anumit tip de injectare care nu întotdeauna este favorabil curgerii; în jurul punctului de injectare apar linii de front de curgere, zone mătuite. Fenomenul se explică prin aceea că materialul plastic topit care curge în matriță se răcește prea mult, curentul de material fiind divizat.

Există mai multe remedii:

- se ridică temperatura matriței;
- se ridică temperatura matriței în vecinătatea punctului de injectare (de exemplu folosindu-se un patron de încălzire);
- se crește viteza de injectare;
- se mărește presiunea de injectare;
- se mărește temperatura de injectare;
- se mărește canalul și digul de injectare.

Un defect care se poate observa frecvent la formarea prin injecție constă în apariția unor zone mate, neregulate, care sunt asemănătoare unor excrescențe și care iau naștere datorită unui așa numit *jet liber* (*fig.5.112*).

În acest caz, materialul plastic topit curge în cuib, se desprinde de pereții matriței imediat lângă orificiul de injecție și pătrunde în cuib sub formă de jet liber. Materialul plastic care urmează nu are o temperatură așa de mare încât să topească în mod omogen aceste excrescențe. Acest fenomen ce se petrece în matriță este nedorit, deoarece piesa prezintă pe suprafață urmele acestor excrescențe, iar proprietățile mecanice se reduc substanțial.

În practică, s-au căutat mijloace pentru eliminarea fenomenului de „jet liber". Astfel, s-a constat că o temperatură mai ridicată a materialului plastic determină creșterea fluidității. Această observație a determinat găsirea unor soluții pentru eliminarea fenomenului de „jet liber" prin: ridicarea temperaturii materialului plastic în cilindrul mașinii de injectat, realizarea unei viteze mici de injectare prin orificii de injectare mari, o viteză de injectare mare printr-un orificiu de injectare mic, mărirea temperaturii matriței în zona orificiului de injectare, folosirea unor miezuri auxiliare în matriță în fața orificiului de injectare în cuib.

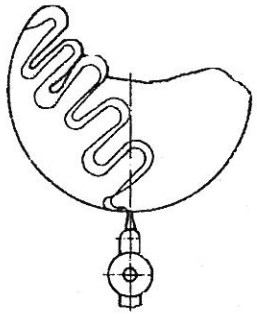


Fig.5.112. Formarea jetului liber.

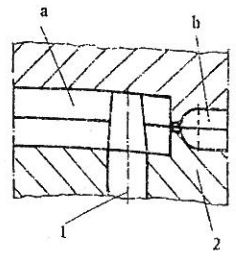


Fig.5.113. Soluție constructivă pentru eliminarea defectului de jet liber: 1 - poanson; 2 - placă de formare; a - cuib; b - canal.

Prin plasarea unui poanson fix sau mobil, în fața orificiului de injectare se creează un obstacol; materialul plastic sub presiune întâlnește acest obstacol, își ridică temperatura, aderă la suprafața cuibului evitându-se astfel apariția fenomenului de jet liber (*fig.5.113*).

5.4.5. Defecte datorate umidității materialului plastic

Materialele termoplastice se comportă diferit la umiditate, unele absorbind mai multă apă, altele mai puțină. Absorbția de apă datorită depozitării materialului într-o atmosferă umedă, datorită climatului, datorită diferențelor termice între zi și noapte, la transport maritim, are influență asupra prelucrabilității. Excesul de umiditate se elimină prin încălzire în uscătoare, la durate de timp și temperaturi prescrise pentru fiecare material în parte.

Prezența apei la un material care se prelucrează determină pe suprafața piesei injectate apariția unor zone mate, a unor rizuri. Aceste urme își fac simțită prezența nu numai în jurul punctului de injectare ci în locuri mai îndepărtate de punctul de injectare. Ele se prezintă de foarte multe ori de forma unor elipse alungite.

5.4.6. Defecte dependente de presiune

Defectele de acest gen pot avea aspectul unor canale circulare asemănătoare feței unui disc, a undelor pe suprafața apei sau a suprafeței unei coji de portocală. Acest defect își are cauza în umplerea insuficientă a cuibului matriței.

Înlăturarea acestor defecte este posibilă prin:

- mărirea dozajului de material;
- mărirea presiunii de injectare;
- mărirea vitezei de injectare;
- ridicarea temperaturii materialului; chiar numai o temperatură insuficientă a matriței poate duce la efectul „coajă de portocală";
- canalul de injecție trebuie mărit;
- digul matriței se mărește (în foarte multe cazuri prin mărirea canalului și a digului se obțin îmbunătățiri esențiale).

În afară de defectele prezentate mai sus, defecte care au necesitat o explicație mai detaliată, piesele injectate pot suferi în timpul procesului de injectare și alte defecte: urme de curgere de culoare închisă, urme de ardere, linii de sudură, bavuri, aderență la cuib, urme de curgere deschise la culoare, fisuri fine, etc. Toate aceste defecte se cuprind în *tab.5.27.*

5.5. Calculul pieselor injectate

Operațiile de calcul la care sunt supuse piesele injectate cuprind:

- calcule de dimensionare care să asigure rezistența pieselor injectate în condițiile aplicării unor sarcini;
- calcule de verificare în care piesele injectate de dimensiuni date rezistă sau nu sarcinilor aplicate.

În executarea acestor operații de calcul trebuie să se țină seama de proprietățile mecanice ale materialelor termoplastice (capitolul 1.2.2). Procedeele de calcul trebuie să țină seama de comportarea vâscoelastică a materialelor termoplastice [12].

O piesă injectată poate fi supusă următoarelor tipuri de solicitări:

- solicitări statice;
- solicitări dinamice.

În cadrul solicitărilor dinamice se acordă o atenție deosebită solicitărilor intermitente. Pentru materialele termoplastice nu există, ca și la materialele metalice, mărimi caracteristice ci funcții caracteristice de material. De exemplu:

$$E = f(t, T, \sigma) . \tag{5.90}$$

5.5.1. Calculul la solicitări statice

Se vorbește despre o solicitare statică la o piesă injectată atunci când deformarea crește fără întrerupere într-o direcție.

Au fost studiate în capitolul 1.2.2.1 solicitările de scurtă durată și cele de lungă durată, care fac parte din categoria solicitărilor statice. La solicitările statice trebuie cunoscute următoarele condiții de lucru ale pieselor injectate:

- durata încărcării, t;
- temperatura de lucru, T.

La proiectarea pieselor interesează valoarea efortului unitar admisibil $\sigma_{a(t)}$, corespunzător unei anumite durate de funcționare t.

În general, se cunosc limita de curgere $\sigma_{c(0)}$ și rezistența admisibilă $\sigma_{a(0)}$ din încercările de scurtă durată. Între $\sigma_{a(t)}$ și $\sigma_{a(0)}$ a fost stabilită, pentru materiale izotropice, următoarea relație

$$\sigma_{a(t)} = \sigma_{a(0)} \left(\frac{n}{t}\right)^m , \tag{5.91}$$

în care:

- n, m - constante de material.

Valorile recomandate pentru limita de curgere și rezistența admisibilă a unor materiale termoplastice rezultate din încercări de scurtă durată sunt prezentate în *tab.5.28.* Valorile constantelor m și n pentru diferite materiale termoplastice sunt prezentate în *tab.5.29.*

Tab.5.27. **Defecte ale pieselor injectate din materiale termoplastice.**

Defectul piesei	CAUZA			
	Mașina de injecție	Matrița de injectare	Materialul plastic	Concepția piesei
0	1	2	3	4
deformare, torsionare	-temperatura de injectare prea mare sau prea mică -ciclul de injectare prea scurt -presiunea de injectare prea mare	-temperatura matriței prea mare -plasarea greșită a digului -dig prea mic -amplasarea greșită a aruncătoarelor -porțiuni „umbrite" în matriță	- materialul plastic cu contracție prea mare	- grosimi de pereți neuniforme - aglomerări de material - treceri bruște de la un perete la altul
locuri de ardere (efect Diesel)	-temperatura de injectare prea mare -viteza de injectare prea mare	-matrița nu are canalele de aerisire suficiente		
exfolieri pe suprafața piesei	-viteză mică de injectare	-temperatura matriței prea mică -temperatura matriței prea mare -prezența agentului de demulare în cantitate prea mare -canale prea inici -dig prea mic -canalul sau digul prea mic -digul nu e bine plasat	-materialul plastic conține umiditate -urme de material străin față de cel care se prelucrează -procentajul de material recuperat prea mare	-neuniformități de pereți
linii de curgere și linii de sudură	-presiune de injectare prea mică -temperatură de injectare prea mică -viteza de injectare prea mică	-temperatura matriței prea mică -suprafața matriței este unsă -canalul sau digul prea mic -digul nu e bine amplasat	-material cu indice de curgere prea mic	
injectare incompletă	-dozare insuficientă -presiune de injectare prea mică -viteză de injectare insuficientă -duza mașinii prea mică sau înfundată -încălzirea mașinii defectă	-temperatura matriței prea mică -cuiele prea mică -canale în matriță prea lungi -poanson deplasat		-grosimi de pereți neuniforme
formare de bavură	-dozare prea mare -presiune de injectare prea mare -temperatura materialului prea mare -viteza de injectare prea mare -închiderea mașinii defectuoasă	-închiderea mașinii defectuoasă -corpuri străine aflate în planul de separație al matriței -calitatea necorespunzătoare a suprafețelor de etanșare a matriței		

Tab.5.27. Continuare.

0	1	2	3	4
contracţii	-dozare insuficientă -presiune de injectare prea mică -temperatura materialului plastic prea mare sau prea mică -timpul de menţinere a presiunii ulterioare prea mic -timpul de răcire prea mic	-temperatura matriţei necorespunzătoare -culee prea mică -digul prea mic -digul nu e bine plasat	-materialul plastic prezintă contracţii prea mari	-grosimi de perete neuniforme -aglomerări de material
scoaterea din matriţă	-dozare prea mare -presiune de injectare prea mică -temperatura materialului plastic prea mare sau prea mică -timpul de menţinere a presiunii ulterioare prea mic -timpul de răcire prea mic	-porţiuni umbrite -conicităţi insuficiente -culeea prezintă şanţuri -vacumare la scoaterea din matriţă -amplasarea greşită a aruncătoarelor -funcţionarea nesincronă a aruncătoarelor -matriţa are suprafeţe necorespunzătoare		-soluţii constructive greşite
suprafaţă ondulată, efect de disc, efect de coajă de portocală	-dozare insuficientă -presiune de injectare prea mică -temperatura materialului plastic prea mică -capacitate de plastifiere prea mică -viteză de injectare necorespunzătoare -încălzire neregulată a cilindrului maşinii	-matriţa prea rece -culeea prea mică -canale prea mici -digul prea mic		-secţiuni de perete neuniforme
retasuri	-dozare insuficientă -presiune de injectare insuficientă -viteză de injectare insuficientă -temperatură de injectare necorespunzătoare -timpul de menţinere a presiunii ulterioare insuficient	-temperatura matriţei necorespunzătoare -digul prea mic -digul nu e corect amplasat -canale de alimentare prea mici	-materialul plastic se contractă puternic	-aglomerări de material
ondulaţii lângă culee	-timpul de menţinere a presiunii ulterioare prea mic -ciclul de injectare prea scurt	-matriţa prea caldă		-grosime de perete neuniformă -aglomerări de material

Tab.5.27. Continuare.

0	1	2	3	4
formare de bule	-dozare insuficientă -presiune de injectare insuficientă -viteză de injectare insuficientă -temperatură de injectare prea mare sau prea mică -timpul de menţinere a presiunii ulterioare insuficient	-matriţa prea rece -culeea prea mică -digul prea mic -dig plasat necorespunzător -canale de alimentare prea mici	-umiditate în materialul plastic	-grosime de pereţi neuniforme -aglomerări de material
urme deschise la culoare (argintare)	-temperatura de injectare prea mare -capacitate de plastifiere prea mică -viteză de injectare prea mare	-matriţa prea rece -culeea prea mică -digul prea mic	-material prea umed	
urme de curgere negre, pete negre, puncte negre	-cilindrul maşinii nu este curat -temperatura de injectare prea mare -viteza de injectare prea mare	-pereţii matriţei pătaţi cu grăsime	-material plastic impurificat	-secţiuni de pereţi prea mici
piesă fragilă	-temperatura de injectare necorespunzătoare -viteza de injectare prea mică	-matriţă prea rece -digul nu e bine plasat	-material plastic degradat -procentajul de material recuperat prea mare -existenţa în material a „dopurilor reci" -material amestecat cu material incopatibil	-piesa prezintă colţuri ascuţite -grosimi de perete insuficiente -grosimi de perete neuniforme
reperul prezintă fisuri fine, lungi sau scurte (se observă la încovoiere)	-presiune de injectare prea mare	-dig plasat incorect -canal de injectare necorespunzător		-reperul prezintă tensiuni proprii -colţuri ascuţite
formarea „jetului liber"	-viteză de injectare prea mare	-dig prea mic		

Tab.5.28. Valori recomandate pentru limita de curgere şi rezistenţa admisibilă a unor polimeri rezultaţi din încercări de scurtă durată:
- τ_c, $\sigma_{t,c}$, $\sigma_{i,c}$ - limita de curgere la forfecare, tracţiune şi încovoiere;
- τ_a, $\sigma_{t,a}$, $\sigma_{i,a}$ - rezistenţa admisibilă la forfecare, tracţiune şi încovoiere.

Material plastic	Limita de curgere [MN/m^2]			Efort unitar admisibil [MN/m^2]		
	τ_c	$\sigma_{t,c}$	$\sigma_{i,c}$	τ_a	$\sigma_{t,a}$	$\sigma_{i,a}$
Policlorura de vinil	85	50	100	42	25	50
Poliformaldehida	130	60	100	65	36	50
Policarbonat	80	70	85	37	35	42
Polipropilenă	60	35	50	25	17	22
Politetrafluoretilen	20	16	18	8	6	7

Tab.5.29. Valori ale constantelor *m* şi *n*.

Material plastic	n	m
Poliamide	0,047	4.10^{-4}
Politetrafluoretilenă	0,062	3,3

Toate calculele care se vor prezenta sunt valabile pentru materialele omogene, izotropice. Anizotropii ale proprietăţilor piesei injectate cauzate de prelucrare trebuiesc neapărat luate în considerare. Astfel la piesele injectate cu pereţi subţiri, cu drumuri lungi de curgere, rezistenţa la tracţiune transversală pe direcţia de curgere poate să atingă doar 20% din valoarea rezistenţei la tracţiune pe direcţia curgerii.

În lucrarea [38] pentru materialele anizotropice se recomandă între $\sigma_{a(t)}$ şi $\sigma_{a(0)}$ următoarea relaţie

$$\sigma_{a(t)} = k_\sigma \cdot \sigma_{a(0)}, \tag{5.92}$$

unde:
- k_σ - coeficient de durată.

Pentru piese încărcate static se foloseşte dimensionarea limitei de deformaţie prin care rezistenţa admisibilă depinde de timp şi temperatură, şi se stabileşte pentru o anumită deformare admisibilă

$$\sigma_a \Big|_{\substack{T=ct \\ t=ct}} = f(\varepsilon_a) \Big|_{\substack{T=ct \\ t=ct}}. \tag{5.93}$$

Deformaţia admisibilă ε_a a piesei injectate trebuie să fie mai mică decât deformaţia critică ε_{cr}

$$\varepsilon_a < \varepsilon_{cr}. \tag{5.94}$$

Se recomandă pentru ε_a = 0,5...1,5%. Deformarea critică sau deformarea limită sub care nu e de aşteptat deteriorarea materialului se situează pentru termoplastele cristaline la aproximativ 2...3%, iar pentru termoplastele amorfe la 0,8...1,0%.

Pentru calculul pieselor solicitate static s-a dovedit corespunzător prezentarea în timp a materialelor termoplastice sub formă de curbe de alungire-deformaţie (σ - ε), izocore (*fig.5.114*). Informaţia oferită de aceste curbe este suficientă pentru a cuprinde în calcul diferite solicitări: întindere, compresie, încovoiere, torsiune.

5.5.1.1. Întindere şi compresiune

Dacă asupra unei bare drepte din material plastic se aplică pe axa centrelor de greutate forţe dirijate în lungul axei, ea este solicitată la întindere sau compresiune (*fig.5.115*).

Formula generală a solicitării la întindere şi compresiune este dată de relaţia

$$\sigma = \frac{N}{A}, \tag{5.95}$$

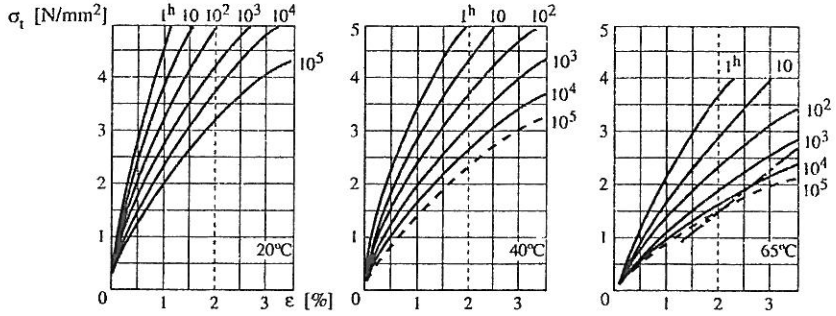


Fig.5.114. Curbe izocore σ_t - ε pentru Hostalen GM 5050 la diferite temperaturi.

unde:
- N - forţa;
- A - secţiunea.

La dimensionare, necunoscută este aria necesară a piesei

$$A_{nec} = \frac{N}{\sigma_a}, \tag{5.96}$$

unde:
- σ_a - rezistenţa admisibilă a materialului termoplastic.

La verificare se determină efortul unitar efectiv. Pentru buna funcţionare a piesei injectate valoarea efortului unitar efectiv trebuie să fie inferioară rezistenţei admisibile

$$\sigma_{ef} = \frac{N}{A_{ef}} \le \sigma_a, \tag{5.97}$$

unde:
- A_{ef} - aria efectivă a piesei injectate.

Alungirea specifică ε se determină cu relaţia

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}, \tag{5.98}$$

unde:
- E - modulul de elasticitate al materialului termoplastic.

Alungirea unei bare de dimensiune iniţială L_0, conform *fig.5.115*, este dată de relaţia

$$\Delta l = \varepsilon \, l_0. \tag{5.99}$$

În legătură cu piesele injectate solicitate la întindere şi compresiune se fac următoarele observaţii:
- relaţiile prezentate mai sus sunt valabile pentru T=ct, t=ct, iar efortul unitar admisibil stabilit pentru o anumită deformare admisibilă, σ_a=$\sigma_a(\varepsilon_a)$ (T=ct, t=ct);

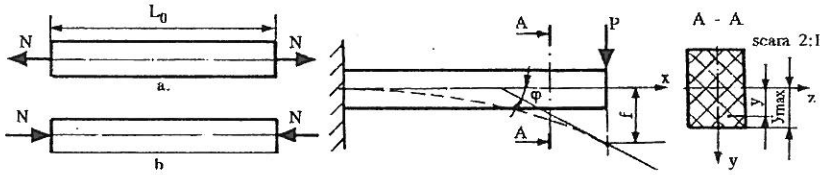


Fig.5.115. Întinderea şi compresiunea:
a - solicitare la întindere;
b - solicitare la compresiune.

Fig.5.116. Încovoierea:
y - distanţa faţă de axa neutră; θ - unghiul de rotire;
P - forţa; f - săgeata.

- valorile pentru σ_a se determină din grafice de tipul celor din *fig.5.114*;
- valorile pentru modulul de elasticitate se determină din *tab.5.30*.

Tab.5.30. Caracteristici mecanice pentru câteva materiale termoplastice.

Material plastic	Modul de elasticitate longitudinal E [MPa]	Modul de elasticitate transversal G [MPa]	Rezistență la torsiune σ_t [MPa]
Polistiren de uz general	(3,4 - 2,7) 10^3		55...34
ABS	(2,7 - 0,6) 10^3		58...20
Polistiren, umplutură sticlă	(9,0 - 7,5) 10^3		118...75
Poliamidă 6	(2,5 - 1,0) 10^3		
Poliamidă 6.6	(2,8 - 1,1) 10^3		86...49
Policarbonat	(2,4 - 0,9) 10^3		65...62
Polipropilenă	(1,9 - 0,8) 10^3		34
PVC rigid	(1,3 - 0,5) 10^3		-
PVC plastifiat	(0,02 - 0,01) 10^3		-
Polietilenă de joasă densitate	(0,18 - 0,10) 10^3		6,2...1,7
Poliacetali	2,7		68
Politetrafluoretilen	(0,40 - 0,25) 10^3		24...17
Etilceluloză	(2,4 - 0,3) 10^3		-
Poliamidă, implutură sticlă	(5,9 - 0,8) 10^3		-

5.5.1.2. Încovoiere

În cazul unei bare solicitate la încovoiere (*fig.5.116*) se folosește pentru determinarea efortului unitar relația

$$\sigma = \frac{M_i}{W}, \tag{5.100}$$

unde:
- M_i - momentul de încovoiere;
- W - modulul de rezistență la încovoiere al unei secțiuni în raport cu axa z.

Pentru dimensionare se determină modulul de rezistență necesar

$$W_{nec} = \frac{M}{\sigma_{ai}}. \tag{5.101}$$

Pentru verificare se determină efortul unitar efectiv care se compară cu rezistența admisibilă:

$$\sigma_{ef} = \frac{M}{W_{ef}} \le \sigma_a. \tag{5.102}$$

Momentul de încovoiere capabil se determină cu relația

$$M_{cap} = W_{ef} \cdot \sigma_a. \tag{5.103}$$

În cazul general, modulul de rezistență la încovoiere față de o axă dată, se determină cu relația

$$W_z = \frac{I_z}{y_{max}}, \tag{5.104}$$

unde:
- I_z - momentul de inerție al secțiunii față de axa neutră $0z$;
- y_{max} - distanța maximă de la axa neutră la fibra extremă a secțiunii.

Sub acțiunea forței P bara solicitată la încovoiere suferă o deplasare. Deplasările fibrei medii deformate a barei pe direcția $0y$ poartă denumirea de *săgeată*, f. Unghiul tangentei la fibra medie deformată se numește *unghi de rotire*, φ (*fig.5.116*). În legătură cu calculul pieselor injectate solicitate la încovoiere, se fac următoarele observații:

- relațiile rezultate mai sus sunt valabile în condițiile $T = ct$, $t = ct$, iar efortul unitar admisibil stabilit pentru o anumită deformare admisibilă $\sigma_a = \sigma_a(\varepsilon_a)$ ($T = ct$, $t = ct$);
- valorile pentru σ_a se determină din grafice asemănătoare cu cele din *fig.5.114*;
- valorile pentru modulele de elasticitate se determină din *tab.5.30*;
- relațiile de calcul pentru M_{max}, I_{max}, W, f_{max}, f_{min} sunt prezentate în *tab.5.31* și *tab.5.32*.

5.5.1.3. Răsucire

Solicitările de răsucire sunt produse la o bară de către forțele care nu întâlnesc axul barei, respectiv nu sunt paralele cu ea (*fig.5.117*). Efortul care produce solicitarea la răsucire este momentul de răsucire.

În bară ia naștere un efort unitar tangențial calculat cu relația

$$\tau = \frac{M_r}{W_p}, \tag{5.105}$$

unde:
- M_r - momentul de răsucire sau torsiune;
- W_p - modulul de rezistență polar al secțiunii.

Pentru dimensionare se determină modulul de rezistență polar necesar

$$W_{p\,nec} = \frac{M_r}{\tau_a}, \tag{5.106}$$

unde:
- τ_a - efortul unitar admisibil la răsucire.

Pentru verificare se determină efortul unitar efectiv care se compară cu efortul unitar admisibil

$$\tau_{ef} = \frac{M_r}{W_{ef}} \le \tau_a. \tag{5.107}$$

Momentul de răsucire capabil se determină cu relația

$$M_{cap} = W_{p\,ef} \cdot \tau_a. \tag{5.108}$$

Momentul de rezistență polar al unui arbore de secțiune circulară supus la răsucire printr-un moment M_r se poate calcula cu relația

$$W_p = \frac{I_p}{r_{max}}, \tag{5.109}$$

unde:
- I_p - momentul de inerție polar;
- r_{max} - raza maximă.

Sub acțiunea momentului de răsucire, bara suferă o deplasare unghiulară sau o rotire specifică care se calculează cu relația

$$\theta = \frac{M_t}{G \cdot I_p}, \tag{5.110}$$

unde:
- G - modulul de elasticitate transversal.

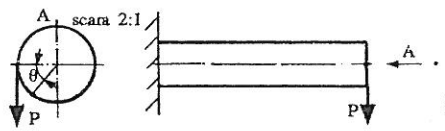
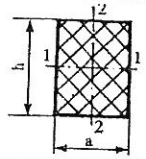
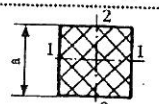
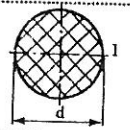
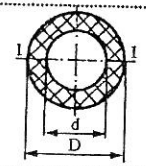
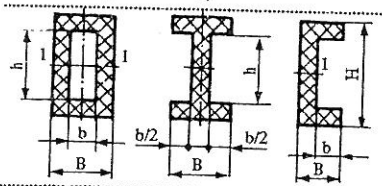
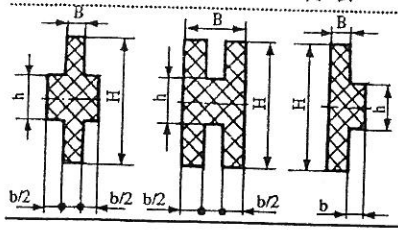


Fig.5.117. Răsucirea:
P - forța; θ - unghiul de răsucire.

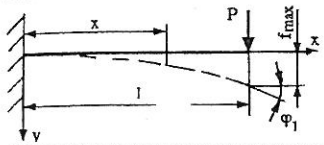
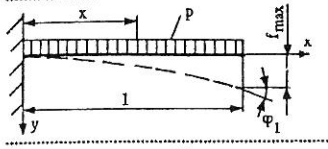
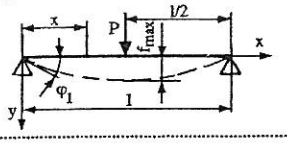
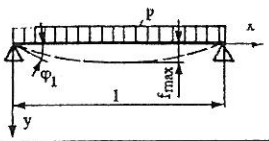
În legătură cu calculul pieselor injectate solicitate la răsucire se fac următoarele observații:

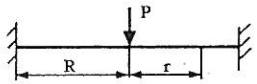
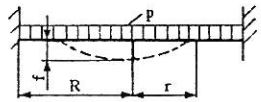
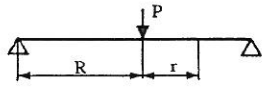
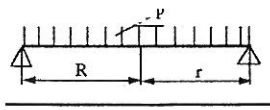
- relațiile prezentate mai sus sunt valabile în condițiile $T = ct$, $t = ct$, iar efortul unitar admisibil este stabilit pentru o anumită deformație admisibilă $\sigma_a = \sigma(\varepsilon_a)$ ($T = ct$, $t = ct$);
- valorile lui τ_a se determină conform relației (5.116);
- valorile pentru modulul de rezistență transversal G se determină din *tab.5.30* sau folosind formula (1.5) capitolul 2.2.1.1;
- relațiile de calcul pentru I_p, W_p sunt date în *tab.5.33*. Pentru alte tipuri de secțiuni decât cele inelare și circulare se oferă relația de calcul în lucrările de specialitate.

Tab.5.31. **Momente de inerție și module de rezistență pentru secțiuni simple.**

Secțiunea	Momente de inerție	Module de rezistență
	$I_1 = \frac{bh^3}{12}$ $I_2 = \frac{hb^3}{12}$	$W_1 = \frac{bh^2}{6}$ $W_2 = \frac{hb^2}{6}$
	$I_1 + I_2 = \frac{a^4}{12}$	$W_1 = W_2 = \frac{a^2}{6}$
	$I_1 = \frac{\pi d^4}{64} \approx 0,05d^4$	$W_1 = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1d^3$
	$I_1 = \frac{\pi D^4}{64}[1-(\frac{d}{D})^4]$	$W_1 = \frac{\pi D^3}{32}[1-(\frac{d}{D})^3]$
	$I_1 = \frac{BH^3 - bh^3}{12}$	$W_1 = \frac{BH^3 - bh^3}{6H}$
	$I_1 = \frac{BH^3 + bh^3}{12}$	$W_1 = \frac{BH^3 + bh^3}{6H}$

Tab.5.32. **Momente, săgeți, unghiuri de rotire pentru bare și plăci simple: μ - coeficient de contracție transversală; M_r - moment de încovoiere radial; M - moment de încovoiere circumferențial.**

Bare supuse la încovoiere	Moment de încovoiere	f	φ
	$M_x = -Px$ $M_{max} = Pl$	$x = l$ $f_{max} = \frac{Pl^3}{3EI_z}$	$\varphi_l = \frac{Pl^2}{2EI_z}$
	$M_x = -\frac{px^2}{2}$ $M_{max} = \frac{pl^2}{2}$	$x = l$ $f_{max} = \frac{pl^4}{8EI_z}$	$\varphi_l = \frac{Pl^3}{6EI_z}$
	$M_x = \frac{P}{2}x$ $M = \frac{Pl}{4}$	$x = \frac{l}{2}$ $f_{max} = \frac{Pl}{48EI_z}$	$\varphi_l = \frac{Pl^2}{16EI_z}$
	$M_x = \frac{pl}{2}x(1-\frac{x}{l})$ $M = \frac{pl^2}{8}$	$x = \frac{l}{2}$ $f_{max} = \frac{5pl^4}{384EI_z}$	$\varphi_l = \frac{pl^3}{24EI_z}$

Plăci supuse la încovoiere	Moment de încovoiere	f	φ
	$M_r = -\frac{P}{4\pi}[1-(1+\mu)\ln\frac{r}{R}]$ $M_t = -\frac{P}{4\pi}[\mu+(1+\mu)\ln\frac{r}{R}]$	$r = 0$ $f_{max} = \frac{PR^2}{16\pi D}$	$\varphi = -\frac{Pr}{4\pi D}\ln\frac{r}{R}$
	$M_r = \frac{p}{16}[R^2(1+\mu)-r^2(1+3\mu)]$ $M_t = \frac{p}{16}[R^2(1+\mu)-r^2(3+\mu)]$	$r = 0$ $f_{max} = \frac{pR^4}{64D}$	$\varphi = \frac{pr}{16D}(R^2-r^2)$
	$M_r = \frac{P}{4\pi}(1+\mu)\ln\frac{r}{R}$ $M_t = \frac{P}{4\pi}[1-\mu-(1+\mu)\ln\frac{r}{R}]$	$r = 0$ $f_{max} = \frac{PR}{16\pi D}\frac{3+\mu}{1-\mu}$	$\varphi = \frac{Pr}{4\pi D}(\frac{1}{1+\mu} - \ln\frac{r}{R})$
	$M_r = \frac{p}{16}[R^2(3+\mu)-r(1+3\mu)]$ $M_t = \frac{p}{16}(3+\mu)(R^2-r^2)$	$r = 0$ $f_{max} = 4,07\frac{PR^4}{64D}$	$\varphi_{max} = 1,54\frac{PR^3}{16D}$

5.5.1.4. Forfecare

Dacă asupra unei bare acționează două forțe longitudinale, ele determină în secțiunea I-II eforturi unitare de forfecare care se consideră uniform distribuite (*fig.5.118*).

Efortul unitar de forfecare se calculează cu relația

$$\tau = \frac{P}{A}, \tag{5.111}$$

unde:
- A - aria secțiunii de forfecare.

La dimensionare se determină aria necesară efortului

$$A_{nec} = \frac{P}{\tau_{af}}, \tag{5.112}$$

unde:
- τ_{af} - efort unitar admisibil la forfecare.

La verificare se determină efortul unitar efectiv

$$\tau_{ef} = \frac{P}{A_{ef}} \leq \tau_{af}, \tag{5.113}$$

unde:
- A_{ef} - aria efectivă supusă forfecării.

Eforturile unitare tangențiale variază diferit în funcție de secțiune (*fig.5.119*). Valorile maxime sunt:

- în secțiune dreptunghiulară:

$$\tau_{max} = \frac{3}{2}\frac{P}{A}; \tag{5.114}$$

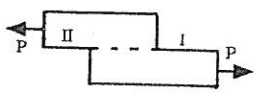


Fig.5.118. Solicitarea la forfecare.

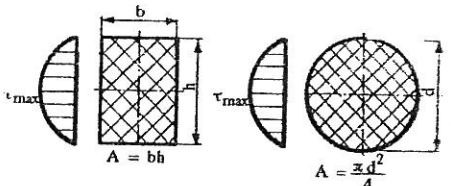
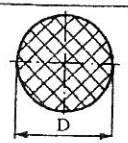
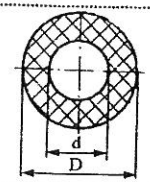


Fig.5.119. Variația eforturilor unitare tangențiale la secțiunile dreptunghiulare și circulare.

Tab.5.33. Momente de inerție polară I_p și module de rezistență polare W_p pentru secțiuni simple.

Secțiunea	I_p	W_p
	$\frac{\pi D^2}{32}$	$\frac{\pi D^3}{16}$
	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{16D}$

- în secțiune circulară:

$$\tau_{max} = \frac{4}{3}\frac{P}{A}. \tag{5.115}$$

Solicitarea la forfecare este valabilă în condițiile T = ct, t = ct, în cazul în care efortul unitar admisibil $\sigma_a = \sigma(\varepsilon_a)$ (T = ct, t = ct).

Efortul unitar admisibil la forfecare se calculează cu relația

$$\tau_{af} \approx (0{,}6 \ldots 0{,}7)\sigma_{at}, \tag{5.116}$$

unde:
- σ_{af} - efort unitar admisibil la tracțiune.

5.5.1.5. Solicitări compuse

Când în secțiunea unei bare acționează un singur tip de efort, are loc o solicitare simplă care poate fi: întindere, compresiune, încovoiere, răsucire, forfecare. În multe cazuri practice se întâlnește într-o secțiune acțiunea simultană a două sau mai multe eforturi, ceea ce duce la solicitări compuse. În acest caz trebuie studiat felul în care se compun eforturile unitare, efectul maxim, și dimensionarea sau verificarea corespunzătoare a barei. Există trei tipuri de solicitări compuse.

O primă grupă o formează solicitările produse de acțiunea simultană a unei forțe axiale de întindere sau compresie și a unui moment încovoietor. Solicitarea compusă poate proveni fie din acțiunea unei forțe excentrice paralelă cu axa barei, fie din acțiunea simultană a unei forțe axiale și a unor forțe transversale (*fig.5.120*). Efortul unitar este calculat cu relația

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W}, \tag{5.117}$$

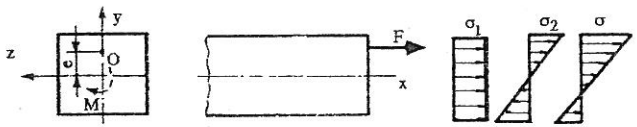


Fig.5.120. Solicitarea compusă (forță excentrică paralelă cu axa barei): F - forța; M - moment încovoietor; σ_1 - efort unitar la întindere; σ_2 - efort unitar la încovoiere; σ - efort unitar ca urmare a solicitării compuse; e - excentricitatea forței.

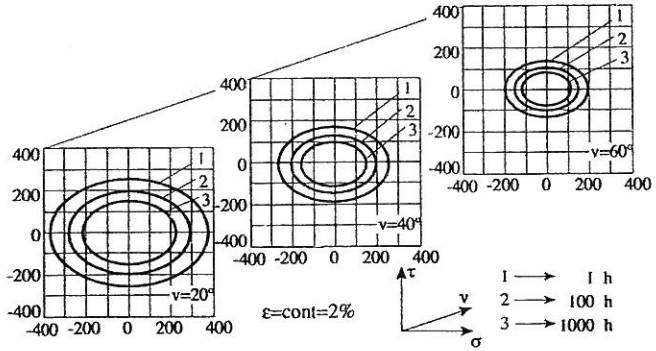


Fig.5.121. Solicitarea compusă, curbe Mohr, pentru un poliacetal (Hostaform C 2520).

unde:

- N - forța de întindere sau de compresiune;
- A - secțiunea solicitată la întindere sau compresiune;
- M - momentul de încovoiere;
- W - modulul de rezistență.

Solicitarea compusă prezentată mai sus este valabilă în condițiile T = ct, t = ct, iar efortul unitar admisibil este stabilit pentru o anumită deformație admisibilă.

O a două grupă o formează solicitările formate din forfecare și răsucire care produc numai eforturi unitare tangențiale.

O a treia grupă este solicitarea compusă care produce eforturi unitare normale și tangențiale. Variația eforturilor tangențiale și normale pentru diferite perioade de timp poate fi urmărită în *fig.5.121* (curbe Mohr).

5.5.2. Calculul la solicitări dinamice

Solicitările dinamice se datoresc acțiunii maselor în mișcare. Solicitările dinamice se pot grupa în:

- solicitări prin forțe de inerție;
- solicitări prin șoc;
- solicitări variabile periodice sau solicitări la oboseală.

5.5.2.1. Solicitări prin forțe de inerție

Piesele injectate solicitate prin forțe de inerție se studiază la fel ca și cele solicitate static, dacă se adaugă forțe de inerție, după care se determină eforturile prin metodele cunoscute.

5.5.2.2. Solicitări prin șoc

Solicitarea prin șoc se produce atunci când asupra piesei injectate intervine o variație bruscă de viteză. Șocul este urmarea contactului între corpuri produs într-un timp extrem de scurt. În urma șocului se produce o forță de contact foarte mare, greu de evaluat. În zona de contact dintre corpurile care se lovesc se produc eforturi unitare foarte mari, urmate de apariția unor deformații permanente.

Lăsând la o parte fenomenul local din zona de ciocnire, solicitarea prin șoc poate fi asimilată unei solicitări statice, prin considerente energetice. Se ajunge astfel la o soluționare aproximativă a problemei.

Efortul unitar dinamic σ_d care ia naștere într-o piesă injectată în formă de bară supusă la șoc, se calculează cu relația

$$\sigma_d = \Psi \cdot \sigma_{st}, \tag{5.118}$$

unde:

- ψ - muliplicator de impact sau coeficient dinamic;
- σ_{st} - efort unitar de întindere, compresiune sau încovoiere prin șoc care ar apărea dacă sarcina ar fi aplicată static.

Multiplicatorul de impact ψ se poate calcula cu formula

$$\Psi = \sqrt{1 + \frac{U_0}{U_{st}}}, \tag{5.119}$$

unde:

- U_0 - energia cinetică a corpului care produce șocul;
- U_{st} - energia de deformație a barei solicitate de sarcina aplicată static.

Deformația ε_d datorată solicitării dinamice se obține din relația

$$\varepsilon_d = \Psi \cdot \varepsilon_{st}, \tag{5.120}$$

unde:

- ε_{st} - deformația datorată solicitării statice.

5.5.2.3. Solicitări la oboseală

Calculul de rezistență la solicitări variabile prezintă, în comparație cu calculul la solicitări statice, o serie de complicații. Se obișnuiește ca piesele supuse la solicitări variabile să fie dimensionate ca și când ar fi solicitate static, printr-un calcul preliminar aproximativ, urmând a se face apoi calculul propriu-zis la oboseală, care constă în a verifica mărimea coeficientului de siguranță.

Solicitarea la oboseală a pieselor injectate este determinată de eforturi unitare alternante și oscilante la tracțiune, compresie, răsucire și încovoiere (*fig.5.122*).

Efortul unitar mediu se calculează cu relația (vezi și capitolul 1.2.2.1.3)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}. \tag{5.121}$$

Amplitudinea eforturilor unitare se determină cu relația

$$\sigma_v = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \sigma_{max} - \sigma_m = \left|\sigma_{min} - \sigma_m\right|. \tag{5.122}$$

Curba de oboseală reprezintă, în diagrama σ-N dependența dintre efortul unitar aplicat și numărul de cicluri la care are loc ruperea la fiecare, efort unitar aplicat (curba Wöhler). În *fig.5.123* este prezentată o curbă Wöhler pentru polistiren. Asimtotele la curbele Wöhler dau mărimea rezistenței la oboseală. Există relații empirice care arată legătura dintre rezistențele la obolseală și rezistențele de rupere statice.

Durabilitatea, respectiv numărul de cicluri până ce ruperea are loc este puternic influențată de prezența găurilor, a crestăturilor, defectelor, etc. Rezistența la oboseală la N cicluri de solicitare a unei piese injectate cu concentratori sau cu defecte poate fi determinată în funcție de rezistența la oboseală fără concentrator σ_R tot la N cicluri de solicitare, cu relația

$$\sigma_{Rc} = \frac{\sigma_R}{C_0}, \tag{5.123}$$

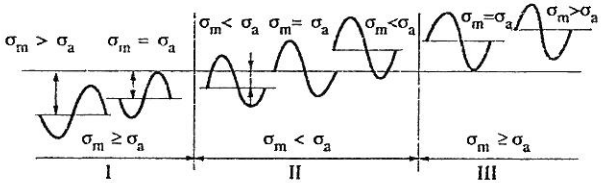


Fig.5.122. Solicitarea la oboseală prin cicluri alternante și oscilante:
I - cicluri oscilante (compresiune); II - cicluri alternante; III - cicluri alternante (tracțiune).

unde:

- C_0 - factorul de reducere a rezistenței la oboseală.

Coeficientul de siguranță se calculează cu relația

$$C = \frac{\sigma_{max\,l}}{\sigma_{max}}, \qquad (5.124)$$

unde:

- $\sigma_{max\,l}$ - efort unitar maxim al ciclului limită;
- σ_{max} - efort unitar maxim al ciclului real.

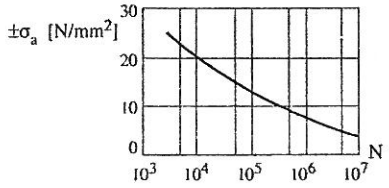


Fig.5.123. Curbă Wöhler pentru polistiren (Hostyren S 5400) în sarcină alternantă la încovoiere (σ_m = 0, T = 20°C): N - numărul de cicluri.

BIBLIOGRAFIE

1. *Sereș, I.* Considerații asupra contracției pieselor injectate din materiale termoplastice. Industria ușoară, nr. 1, 1982.

2. *Schauf, D.* Zusammenhänge zwischen Schwindung, Orienterung, Toleranzen und Verzug bei der Herstellung von Präzisionformteilen. Plastverarbeiter, nr. 9, 1979.

3. *** Informații din practică pentru prelucrătorul de mase plastice. Contracția la piese fabricate prin metoda de turnare - injecție. Prospectul firmei Bayer, 1977.

4. *Ionescu Muscel, Ianculescu, M., Sereș, I., Vass, I., Rosenthal, I., Biro, A.* Proiectarea matrițelor pentru produse injectate din materiale plastice. Editura Tehnică, București, 1987.

5. *Sereș, I.* Proiectarea constructivă a pieselor injectate din material termoplastic. Industria ușoară, nr. 6, 1987.

6. *Beuschel, H., Dominighaus, H., Ullrich, E.* Injection des polyoléfines: forme des articles et construction des moules. Industrie de Plastiques Modernes, avril, 1962.

7. *** Kunststoffe Hoechst. Spritzgiessen von Thermoplasten. Prospectul firmei Hoechst, august, 1971.

8. *** Tecnyl, Techster. Conception des pièces. Prospectul firmei Rhône-Poulenc, 1985.

9. *** Lexan, Noryl, Valox for functional and economical design. Prospectul firmei General Electric Plastics Bv, 1979.

10. *** Noryl, Lexan für functionelles konstruiren. Prospectul firmei General Electric Plastics Bv, 1978.

11. *** Conception des pièces en polyamide Technil. Prospectul firmei Rhône-Poulenc, 1983.

12. *Geyer, H., Gemmer, H.* Methodisches Entwickeln und Fertigen von feinwerktechnischen Funktionsteilen aus thermoplastischen Kunststoffen. Plastverarbeiter, nr. 6, 7, 8, 9, 11, 1972.

13. *Haak, U., Riecke, J.* Verstärktes und gefülltes Polypropylen-Eigenschaften, Anfordärungen und Problemlösungen in der Electrogeräteindustrie. Plastverarbeiter, nr. 9...12, 1982.

14. *Kohlhepp, K., G., Mohnberg, J.* Spritzgiessen for Formteilen hoher Präzision. Kunststoff Berater, nr. 10...12, 1974.

15. *Frigyes, T.* Müanyagiparitervezési segédlet. Bepattanó Kötések. A Müanyag es Gumi, mai, 1985.

16. *** Practica information. Snap joints in plastics. Prospectul firmei Bayer.

17. *** *Clești, R., S.* Sudarea materialelor plastice. Editat de Oficiul de informare documentare pentru construcții de mașini, SID 73, București, 1987.

18. *** Matières plastiques Hoechst. Transformation des semi - produits. Edition, janvier, 1972.

19. *** Ultraschallschweissen, ein Weg zu rationeller Fertigung. Kunststoff-Berater, nr. 4, 1969.

20. *Reiss, M.* Berechung der Belastbarkeit von gewindeprägen den Schrauben in Kunststofformteilen. Plastverarbeiter, nr. 5, 1979.

21. *Manea, Gh.* Organe de mașini, vol. I. Editura Tehnică, București, 1970.

22. *Seltea, C., Oprișan, I., Gionea, I., Cernea, G., Buradel, I.* Materiale plastice în construcția de mașini. Editura Tehnică, 1966.

23. *Balázs, I.* Müanyagfeldolgozás Technológiája. Müszaki könyvkiadó, Budapest, 1975.

24. *Jaksch, E., Chetariu, D., Manea, Gh.* Materiale plastice poliamidice. Editura Tehnică, București, 1988.

25. *Drăghici, I., Jula, A., Chișiu, E., Rădulescu, C., Alexandru, P., Apetrei, G., Tănăsescu, I., Achiriloaie, I., Moldovean, G., Ciobotă, M., Cismaru, I.* Organe de mașini. Probleme. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1980.

26. *Manea, Gh., Mladinescu, T., Udrea, C.* Influența lubrificației și a vitezei pe-riferice asupra capacității portante a roților dințate cilindrice cu dantură dreaptă din poliamidă indigenă. Materiale Plastice, nr. 10, 1970.

27. *Bernard, J.* Engrenages en matières plastiques réalisés par injection. Plastiques Modernes et Elastomères, avril, 1971.

28. *** Engrenages en Akulon. Broșura firmei Plastrading Ltd, juin, 1966.

29. *Bujoreanu, V.* Sarcini dinamice la roți dințate din materiale plastice. Materiale Plastice, nr. 10, 1972.

30. *Demian, T., Nițu, C.* Asupra calculului roților dințate cilindrice din materiale plastice. Construcții de mașini, nr. 6, 1980.

31. *Gafițeanu, M., D.* Aspecte ale calculului angrenajelor cu roți dințate din materiale plastice. Materiale Plastice, nr. 6, 1970.

32. *Mayer, G.* Einfluss der Verarbeitungsparameter auf die Qualität von Spritzgussteilen. Bedeutung des Werkzeuginnnendruks bei der Qualitätsuberwachung. Plastverarbeiter, nr. 3, 1982.

33. *Geyer, H.* Einfluss der Verarbeitungsbedigungen auf das Toleranzfeld von Spritzgussteilen. Kunststoffe Hoechst, Sonendruck 670.

34. *Bernhardt. E., C., Bertacchi, G.* New Tool for Mould Design. Plastics Technology. January, 1986.

35. *** Technische Kunststofe. Berechnen, Gestalten, Anweden, B. 31. Berechnen von Schnapp verbindungen mit Kunststoffteilen. Prospectul firmei Hoechst, april, 1991.

36. *** Schreubenverbindungen für Bauteile aus Kunststoffe, nr. 7, 1988.

37. *Werner, T., Behle, J.* Direktverschrauben von PMMA mit Spezialschrauben. Kunststoffe, nr. 4, 1990.

38. *Jinescu, V., V.* Proprietățile fizice și termodinamice ale materialelor plastice. Editura Tehnică, București. 1979.

6. Matriţe de injectat

6.1. Caracteristici generale ale matriţei

Injectarea materialelor plastice este condiţionată în principal de trei factori: caracteristicile maşinii de injectat, caracteristicile materialului plastic şi caracteristicile matriţei de injectat.

Matriţa este subansamblul mecanic care are rolul de a imprima materialului plastic o anumită formă cu dimensiuni bine determinate. Proiectarea şi executarea corectă a matriţelor de injectat condiţionează realizarea unor randamente ridicate la prelucrarea prin injectare. Varietatea deosebit de mare a pieselor injectate din materiale plastice a condus la elaborarea unor soluţii constructive şi tehnologice specifice atât în domeniul proiectării cât şi în cel al execuţiei matriţelor de injectat [1, 2, 3, 19, 20, 21, 60]. Matriţele pentru injectat materiale termoplastice sunt constituite în principiu din două părţi principale: semimatriţa din partea duzei de injectare şi semimatriţa din partea aruncării. Ea este fixată pe platourile de prindere ale maşinii de injectat.

Majoritatea matriţelor lucrează folosind injectarea materialului plastic printr-un orificiu cu axa perpendiculară pe planul de separaţie.

În cazul unor injectări speciale (injectare bicoloră sau tricoloră) injectarea se face atât perpendicular pe planul se separaţie cât şi în planul de separaţie (*fig.6.1*).

6.1.1. Construcţia şi funcţionarea matriţei

În funcţie de forma geometrică a piesei, de natura şi caracteristicile materialului plastic, de tipul maşinii de injectat, etc. există o mare varietate constructivă de matriţe de injectat.

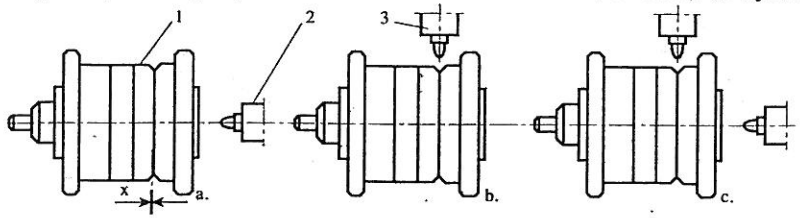


Fig.6.1. Tipurile principale de matriţe de injectat:
a - injectare perpendiculară pe planul de separaţie; b - injectare în planul de separaţie;
c - injectare specială (bicomponentă);
1 - matriţă; 2, 3 - cilindrii de injectare; x - planul de separaţie al matriţei.

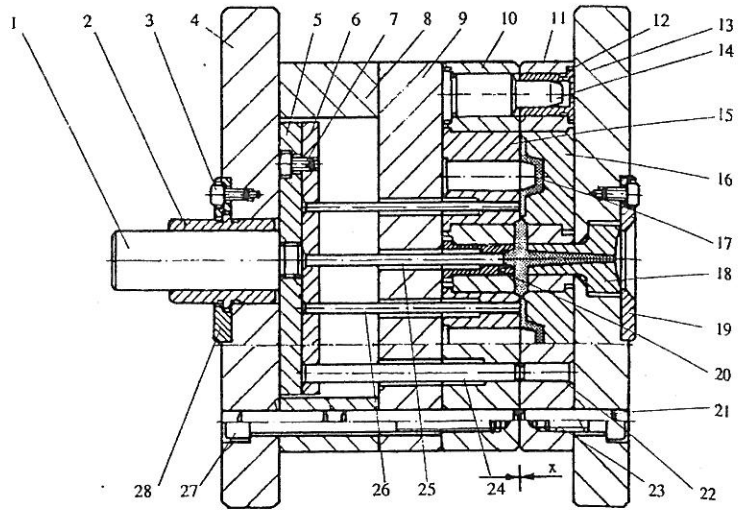


Fig.6.2. Matriţă de injectat cu două cuiburi:
1 - tijă de aruncare; 2 - bucşă de conducere; 3 - şurub; 4 - placă de prindere;
5 - placă aruncătoare; 6 - placă portaruncătoare; 7 - şurub; 8 - placă distanţieră;
9 - placă suport; 10, 11 - placă de formare; 12 - bucşă de ghidare; 13 - placă de prindere;
14 - coloană de ghidare; 15, 16 - pastilă; 17 - poanson; 18 - duză de injectare;
19 - inel de centrare; 20 - bucşă centrală; 21 - ştift; 22 - ştift tampon; 23 - şurub;
24 - ştift readucător; 25 - aruncător central; 26 - aruncător; 27 - şurub; 28 - inel de centrare.

În *fig.6.2* este prezentată o matriţă de injectat cu două cuiburi care cuprinde elemente constructive caracteristice acestui ansamblu constructiv. Matriţa de injectat se montează pe platourile de prindere ale maşinii de injectat prin intermediul celor două plăci de prindere *4* şi *13* care se fixează cu ajutorul unor bride sau şuruburi de fixare. Centrarea matriţei pe platourile maşinii se realizează cu ajutorul inelelor de centrare *28* (pe partea mobilă) şi *19* (pe partea fixă). Inelele de centrare sunt prinse în plăcile de prindere ale matriţei cu ajutorul şuruburilor *3*.

Materialul plastic topit din duza maşinii de injectat ajunge în duza *18* a matriţei de injectat şi prin intermediul reţelei de injectare la cuiburile matriţei. Piesa injectată se formează în cuibul format de poansonul *17* şi pastilele *15* şi *16*. După întărirea materialului plastic în matriţă, ca urmare a răcirii plăcilor matriţei, prin intermediul circuitului de răcire matriţa se deschide în planul de separaţie „X". Piesa injectată, întărită ca urmare a contracţiei pe poansonul *17*, rămâne solidară cu partea mobilă a matriţei împreună cu reţeaua de injectare, reţinută de bucşa extractoare *20*. Tija de aruncare *1* este tamponată de o tijă fixă de pe maşina de injectat şi sistemul de aruncare este acţionat determinând mişcarea plăcii de aruncare *5*, plăcii portaruncătoare *6*, aruncătoarelor *26*, aruncătorului central *25* şi a tijelor readucătoare *24*.

Plăcile aruncătoare şi portaruncătoare sunt fixate cu ajutorul şuruburilor *7*. Tija de aruncare *1* este ghidată de bucşa centrală *2* şi este înşurubată în placa aruncătoare *5*. Piesa injectată este aruncată din matriţă de aruncătoarele tip ştift *26*, iar reţeaua de către aruncătorul central *25*.

La închiderea matriţei tijele de aruncare *24* lovesc ştifturile tampon *22* determinând revenirea la poziţia iniţială a întregului sistem de aruncare. Plăcile matriţei sunt prinse cu

ajutorul șuruburilor *27* și sunt centrate cu ajutorul știfturilor *21*. Centrarea celor două semimatrițe se realizează cu ajutorul coloanelor de ghidare *14* și a bucșelor de ghidare *12*.

6.1.2. Clasificarea matrițelor

Datorită varietății foarte mari a formei pieselor injectate, a seriilor de fabricație largi, a sistemelor constructive dezvoltate pentru injectare, aruncare, etc., clasificarea matrițelor se face după mai multe criterii.

După numărul de cuiburi, matrițele se clasifică în:
- matrițe cu un singur cuib;
- matrițe cu două cuiburi;
- matrițe cu mai multe cuiburi (3, 4, 5...etc.).

După sistemul de injectare, matrițele se clasifică:
- cu injectare directă prin culee;
- cu injectare punctiformă;
- cu injectare cu canale de distribuție;
- cu injectare peliculară sau film;
- cu injectare tip umbrelă;
- cu injectare inelară;
- cu injectare cu canal tunel;
- cu injectare cu canale izolate;
- cu injectare cu canale încălzite.

După modalitatea de acționare a sistemului de aruncare, matrițele se clasifică:
- cu aruncare mecanică;
- cu aruncare pneumatică;
- cu aruncare hidraulică.

După numărul planelor de separație, matrițele se clasifică astfel:
- cu un singur plan de separație;
- cu două plane de separație;
- cu mai multe plane de separație.

După modalitatea constructivă de realizare a matriței în funcție de forma piesei:
- simple;
- cu bacuri;
- cu deșurubare;
- cu mai multe planuri de separație.

Există și alte criterii de clasificare a matrițelor de injectat, însă de mai mică importanță (tipul de aruncătoare, sistemul de temperare, forma piesei injectate, etc.).

6.2. Fenomene la curgerea materialului plastic în matriță

Calitatea piesei injectate, ca factor principal de caracterizare a procesului de injectare, este direct dependentă de fenomenul de umplere al matriței cu material plastic [4, 5, 8, 10, 11].

Transportul topiturii de material plastic din cilindrul mașinii de injectat în matriță este îngreunat de vâscozitatea ridicată a topiturii. Problemele de curgere la umplerea matriței sunt în plus îngreunate de o serie de alți factori: pereții subțiri ai piesei injectate pentru obținerea unor timpi de răcire reduși și a unor contracții mici, secțiuni reduse ale canalelor de curgere, solidificarea rapidă a frontului de curgere, etc.

6.2.1. Capacitatea de curgere a termoplastelor la injectare

Capacitatea de curgere este una dintre cele mai importante proprietăți ale materialului termoplastic în timpul procesului de injectare. Pentru determinarea capacității de curgere a materialului plastic în vederea injectării, se folosește o matriță de injectare în formă de spirală (spirala Griffits). Spirala are o secțiune semicirculară. Capătul canalului trebuie să comunice cu atmosfera, astfel ca pe măsura umplerii formei aerul să poată ieși din cuib. În condiții date, topitura curge din duza mașinii de injectare în centrul spirei și apoi prin canalul spiral, pe o anumită lungime, până la încetarea curgerii ca urmare a răcirii progresive. Lungimea drumului de curgere este dependentă de grosimea pereților, temperatura materialului topit ce se injectează, temperatura peretelui matriței, presiunea de injectare, viteza de avans a melcului. Influența temperaturii materialului plastic topit asupra lungimii de curgere poate fi observată în *fig.6.3* pentru un polistiren.

La materialele termoplastice amorfe are loc, în condiții de prelucrare date, o creștere a lungimii drumului de curgere o dată cu creșterea grosimii spiralei (*fig.6.4*). Același

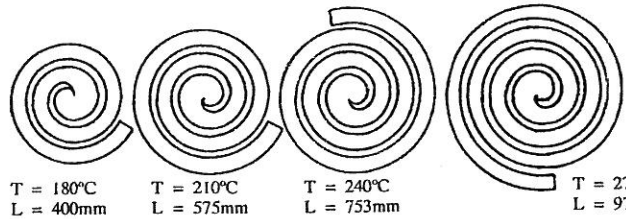


Fig.6.3. Lungimi de spirale Griffits pentru un polistiren (Polystirol 143E).

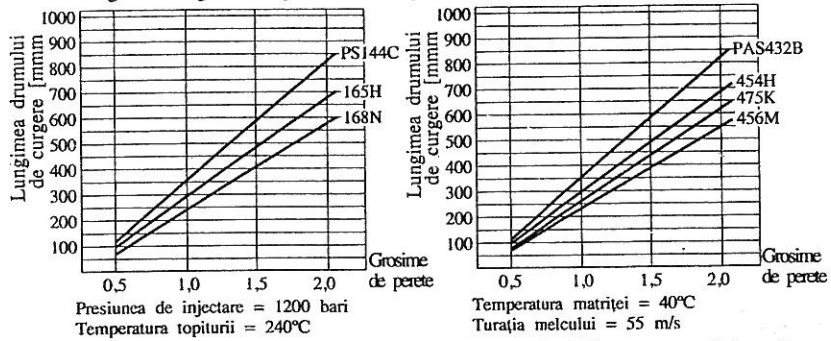


Fig.6.4. Lungimea drumului de curgere în matriță cu spirală Griffits pentru polistiren de uz general și polistiren rezistent la șoc (BASF).

lucru este valabil și pentru materialele termoplaste semicristaline. Pentru unele materiale speciale se constată însă o creștere a lungimii de curgere în formă de spirală o dată cu creșterea grosimii (*fig.6.5*).

Lungimile căilor de curgere în funcție de condițiile de prelucrare și de grosimea pereților ce se obțin prin testul spiralei, sunt valori orientative pentru proiectantul și executantul de matrițe care nu pot găsi răspuns la întrebările referitoare la:

- grosimea minimă de perete pentru un drum de curgere dat;
- dacă cuibul matriței poate fi umplut printr-un singur punct de injectare sau prin mai multe;
- dacă presiunea de injectare a matriței este suficientă pentru umplerea cuibului.

Grosimea pereților piesei injectate nu poate fi oricât de mică, ea depinzând de capacitatea de curgere a materialului și de lungimea pe care acesta o parcurge. De aceea este important să se cunoască grosimea de perete necesară pentru un parcurs de curgere determinat, pentru a evita astfel dificultățile ce pot apărea la fabricație. Lungimea de parcurs a materialului este în funcție de temperatura materialului, de viteza de injectare, de sinuozitatea drumului parcurs în matriță și de presiunea de injectare. Producătorii de materiale termoplastice oferă diagrame pentru calculul grosimii de pereți (*fig.6.6*).

6.2.2. Evaluarea practică a frontului de curgere în matriță

Pentru proiectanții de piese de injectat și de matrițe problema umplerii cuibului matriței este tratată cu foarte mare atenție. Prin desfășurarea în plan a piesei injectate, neglijarea detaliilor geometrice neesențiale, stabilirea pozițiilor optime ale canalelor de alimentare, se poate realiza manual imaginea de umplere a cuibului matriței. Imaginea umplerii servește în final la optimizarea numărului și a poziției canalelor de umplere.

Metodologia care determină stabilirea canalelor de umplere este următoarea [10]:

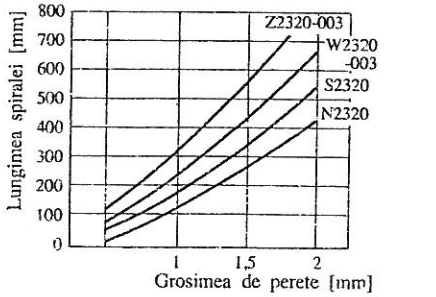


Fig.6.5. Lungimea drumului de curgere în matriță cu spirală pentru un poliacetal (Ultraform).

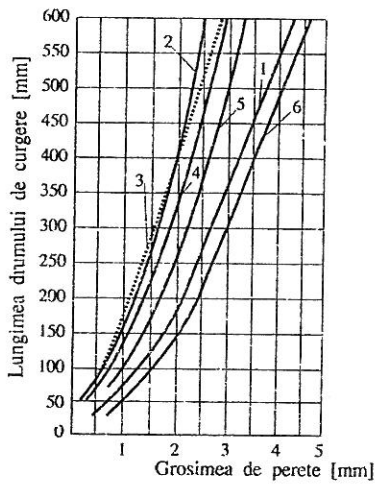


Fig.6.6. Diagrama drum curgere - grosime de perete pentru diferite materiale termoplaste:
1 - PC-ABS (Baylend); 2 - CAB (Cellidor);
3 - PA6 (Durethan); 4 - PBTP (Pocan);
5 - ABS (Novodur); 6 - PC (Macrolon).

- analiza geometriei piesei (construcția piesei, părțile geometrice complexe);
- simplificarea geometriei reale;
- desfășurarea în plan a piesei (realizarea desfășurării cât mai exactă, obținerea de suprafețe continui cât mai mari);
- stabilirea canalelor ca număr și lungime (amplasările cele mai favorabile);
- construirea imaginii umplerii;
- evaluarea imaginii umplerii (pozițiile suprafețelor de sudură, drumul maxim de curgere, legătura dintre direcția de curgere și solicitările mecanice);
- efectuarea de calcule reologice (la drumurile de curgere lungi și grosimi de perete reduse);
- stabilirea pozițiilor favorabile pentru canalele de curgere (se repetă metodologia până la obținerea rezultatului favorabil).

Pentru piesele injectate de formă geometrică simplă, umplerea cuibului matriței se realizează printr-un singur punct de alimentare. În acest caz imaginea umplerii se realizează cu ajutorul arcelor de cerc care reprezintă fronturile de curgere (*fig.6.7*).

În practică apar în foarte multe cazuri piese de construcție complexă injectate dintr-un singur punct sau din mai multe. În *fig.6.8* este prezentat cazul umplerii cuibului matriței pentru o piesă injectată plană prevăzută cu un manșon central. Pornind de la locul de injectare fronturile de curgere se propagă din aproape în aproape pe toată suprafața plană sub formă de arc de cerc (*fig.6.8.a*). În manșon fronturile de curgere se desfășoară conform *fig.6.8.b*, fronturi a căror evoluție se apreciază luând în considerare poziția fronturilor de curgere pe placa de bază, înălțimea de urcare a frontului în manșon și grosimea de perete a manșonului. Întreaga imagine a curgerii pentru piesa injectată poate fi urmărită în perspectivă în *fig.6.8.c*.

Cu cât complexitatea constructivă a piesei crește și cu cât numărul punctelor de injectare este mai mare, metoda determinării manuale a fronturilor de curgere este mai laborioasă. Utilizarea calculatorului care ia în calcul geometria piesei injectate, poziția punctelor de injectare, variația grosimii de perete, etc., permite determinarea foarte corectă și rapidă a fronturilor de curgere la umplerea matriței (capitolul 7).

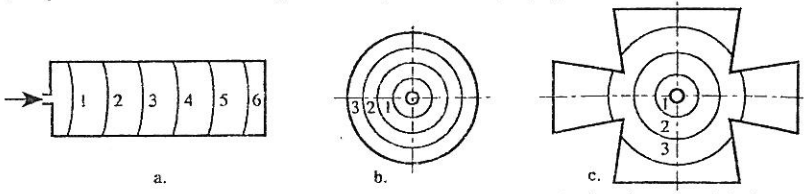


Fig.6.7. Imagini ale umplerii cuibului pentru piese injectate de formă geometrică simplă: a - piesă dreptunghiulară cu perete uniform, injectată lateral; b - piesă circulară cu perete uniform, injectată din centru; c - piesă de tip cutie injectată din centru printr-un singur canal; 1, 2, 3, 4, 5, 6 - fronturile de curgere.

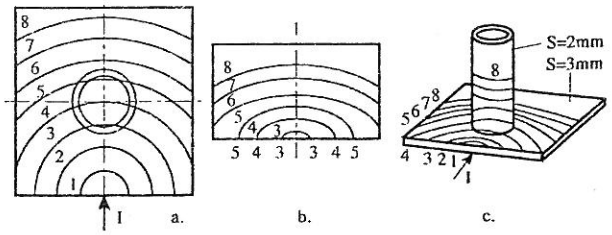


Fig.6.8. Fronturile de curgere pentru o piesă plană cu manșon:
1...8 - fronturile de curgere;
I - loc de injectare.

6.3. Sisteme de injectare în matriță

Ansamblul duză, canale, diguri prin care materialul plastic ajunge în cuib, alcătuiește *sistemul de injectare* al matriței a cărei proiectare constă în alegerea modului de injectare, amplasarea cuiburilor, alegerea locului de injectare, stabilirea formei, secțiunii și amplasării canalelor de injectare, etc. Alegerea și dimensionarea corectă a sistemului de injectare au o influență determinantă asupra calității pieselor injectate și asupra productivității procesului de prelucrare.

Cele mai cunoscute sisteme de injectare sunt:

- injectarea directă;
- injectarea prin canale de distribuție;
- injectarea punctiformă;
- injectarea peliculară;
- injectarea de tip umbrelă;
- injectarea inelară;
- injectarea cu canal tunel;
- injectarea cu canale izolate;
- injectarea cu canale încălzite.

6.3.1. Injectarea directă

În cazul acestui sistem de injectare, întreaga secțiune a orificiului duzei matriței vine în contact direct cu cuibul (*fig.6.9*). Injectarea directă se folosește mai ales în cazul pieselor de dimensiuni mari, a pieselor cu pereți groși și pentru materiale având vâscozitate mare la temperatura de injectare. Sistemul permite o reglare corespunzătoare a umplerii cuibului, prin aceasta eliminându-se ușor contracțiile. Materialul din canalul de injectare, denumit și *culee*, se îndepărtează de piesă după scoaterea ei din cuibul matriței prin tăiere sau frezare.

Pentru realizarea unei piese injectate de bună calitate se acordă atenție deosebită construcției duzei de injectare care trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să aibă o construcție simplă și robustă;
- să fie în corespondență cu duza mașinii de injectat;

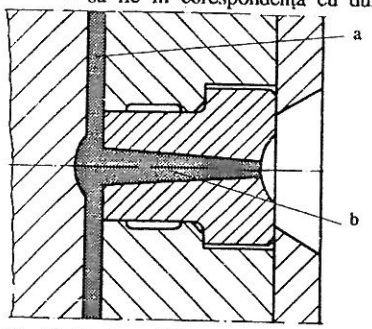


Fig.6.9. Duză cu injectare directă:
a - piesă injectată; b - culee.

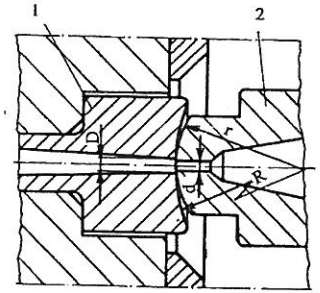


Fig.6.10. Duza mașinii și duza matriței:
1 - duza matriței; 2 - duza mașinii.

- să realizeze pierderi minime de presiune la curgerea materialului plastic;
- să rețină o cantitate redusă de material la fiecare injectare.

Duza mașinii de injectat se sprijină pe duza matriței de injectat, pe o suprafață sferică, diametrul duzei impunându-se să fie mai mic decât diametrul duzei matriței (*fig.6.10*). Se recomandă: $D = d+1$ [mm] și $R = r+1$ [mm].

Injectarea directă oferă cele mai favorabile condiții pentru o curgere reologică optimă în matriță. Culeea unei piese injectate poate fi urmărită în *fig.6.11*. Culeea solidificată în duză aderă la pereții acesteia: pentru a o extrage este nevoie de o forță axială care depinde de:

- conicitatea culeei;
- prezența bavurii la contactul dintre duza matriței și duza mașinii de injectat;
- gradul de prelucrare a suprafeței canalului duzei matriței.

Pentru ca cantitatea de material cuprinsă în culee să nu fie prea mare se limitează unghiul de înclinare al culeei $\alpha_{max} = 4°$, recomandându-se ca valoare frecventă $\alpha = 1°30'$.

Pentru raza de racordare a culeei cu piesa injectată se recomandă $R = (0{,}5...1{,}2)$ mm.

Diametrul d al culeei poate fi calculat după [17] cu formula

$$d = \sqrt{\frac{V}{0{,}785\, vt}}, \tag{6.1}$$

unde:

- V - volumul de material injectat [cm^3];
- v - viteza de curgere a materialului plastic în duză [cm/s];
- t - timp de injectare [s].

În general, se recomandă pentru viteza de injectare $v \approx 100$ cm/s. Practic produsul $v \cdot t$ este constant pentru un material termoplastic dat. Astfel în *tab.6.1* se dau valorile $v \cdot t$ pentru diferite materiale termoplastice.

În [18] se recomandă pentru calculul lui d formula

$$d = \sqrt{\frac{0{,}52\, V}{K}}, \tag{6.2}$$

unde:

- V - volumul de material injectat [cm^3];
- K - constantă în funcție de materialul plastic injectat [cm].

Valorile pentru K se dau, pentru diferite materiale termoplastice, în *tab.6.2*.

Formulele (6.1) și (6.2) dau pentru diametrul d al culeei la contactul cu piesa injectată valori apropiate.

Pentru diametrul d al culeei se recomandă și relația [18, 19]: $d = S_{max} + 1{,}5$ [mm], unde S_{max} reprezintă grosimea maximă a piesei injectate.

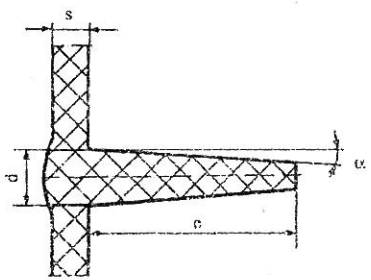


Fig.6.11. Culee pentru o piesă injectată.

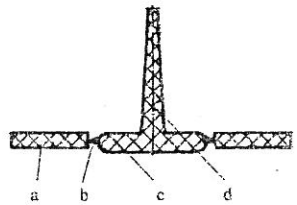


Fig.6.12. Injectarea cu canale de distribuție: a - piesă injectată; b - dig; c - canal de distribuție; d - culee.

Tab.6.1. Valori *v·t* pentru diferite materiale termoplastice.

Material	*v·t* [cm]
polistiren	2,5
polimetacrilat de metil	2,1
acetat de celuloză	2,25
poliamidă	5

Tab.6.2. Valorile coeficientului *K* pentru diferite materiale termoplastice.

Material	*K* [cm]
polistiren	1
PVC plastifiat	0,9
polimetacrilat de metil	0,85
acetat de celuloză	0,9
poliamidă	2

Pentru lungimea *l* a culeei se recomandă în [18] următoarea relație: $5 < l/d < 9$, unde *l* este lungimea culeei, iar *d* este diametrul culeei la contactul cu piesa injectată.

Dacă forma piesei are o configurație specială care impune necesitatea ca lungimea culeei să fie mare atunci $l = (20...30)d$ și dacă pereții piesei sunt prea subțiri se procedează la mărirea cu 10...20% a diametrului *d* al culeei [20].

6.3.2. Injectarea prin canale de distribuție

Acest sistem se folosește în cazul injectării în matrițe cu mai multe cuiburi atunci când materialul plastic este distribuit din duza de injectare, prin canale laterale, la cuiburile matriței (*fig.6.12*).

În vederea amplasării optime a cuiburilor în matrița de injectat trebuie să se respecte următoarele reguli:

- umplerea tuturor cuiburilor trebuie să se facă pe cât posibil concomitent;
- drumul de curgere al materialului plastic prin canalele de distribuție trebuie să fie cât mai scurt posibil;
- distanța dintre cuiburi trebuie să fie suficient de mare pentru a asigura răcirea și aruncarea piesei injectate;
- injectarea trebuie să fie echilibrată astfel încât să nu ia naștere forțe reactive în matriță care ar putea determina ruperea acesteia.

Modalități de amplasare a cuibului în matriță și canalele de distribuție corespunzătoare sunt prezentate în *fig.6.13.*

6.3.2.1. Canale de distribuție

Dimensionarea canalelor de distribuție este influențată de o mulțime de factori care depind de:

- configurația matriței (geometria, volumul și grosimea pereților piesei injectate, condițiile de calitate impuse piesei);
- mașina de injectat (presiunea de injectare, frecvența injectărilor, tipul închiderii);
- materialul injectat (vâscozitatea, compoziția, contracția, etc.);

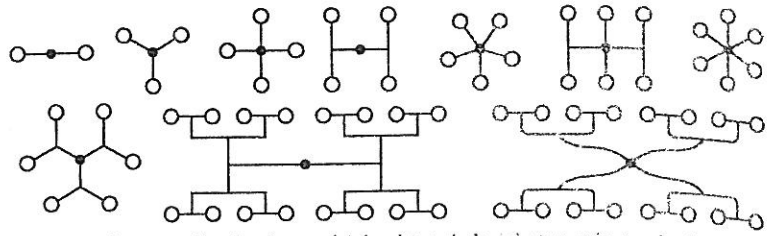


Fig.6.13. Amplasarea cuiburilor în matriță la sistemul de injectare prin canale de distribuție.

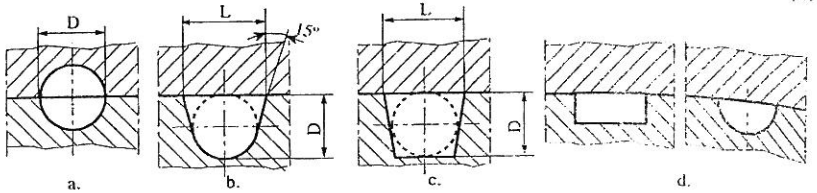


Fig.6.14. Secțiunea canalelor de distribuție: a - secțiune circulară; b - secțiune parabolică; c - secțiune trapezoidală; d - secțiune nefavorabilă.

- modalitatea de lucru (ciclu semiautomat, automat).

Geometria canalelor de distribuție este de foarte mare importanță (*fig.6.14*).

În diferite lucrări [18, 19, 21] se recomandă pentru secțiunile canalelor prezentate în *fig.6.14* următoarele valori

- secțiune circulară: $D = S_{max} + 1,5$ [mm];
- secțiune parabolică: $D = S_{max} + 1,5$ [mm] și $L = 1,25 \cdot D$ [mm];
- secțiune trapezoidală: $L = 1,25 \cdot D$.

S_{max} reprezintă grosimea maximă a peretelui piesei injectate. Aceste relații sunt determinate experimental.

Tot pe această cale empirică este prezentată în lucrarea [21] o metodă de determinare a secțiunii canalelor pentru diferite materiale termoplastice (*fig.6.15*). Pentru determinarea diametrului *D* al canalului de distribuție, în conformitate cu *fig.6.15* se procedează în felul următor:

- se determină masa și grosimea peretelui piesei injectate;
- se alege diametrul D^* în funcție de masa materialului și grosimea peretelui piesei injectate pentru materialul plastic dat în diagramele *1* sau *2*;
- se determină lungimea canalului constructiv;
- se detrmină factorul de corecție f_L în funcție de lungimea canalului din diagrama *3*;
- se determină diametrul canalului de distribuție cu relația

$$D = D^* \cdot f_L . \tag{6.3}$$

Determinarea secțiunii canalului prin metoda prezentată dă valori aproximative. Pentru calcule mai exacte se ia în considerare comportarea la curgere a materialului plastic în canalele de distribuție. Astfel Gastrow determină debitul de material plastic în canale cu următoarele secțiuni [22]:

- circulare

$$Q = \frac{\pi R^3 \Delta p}{2K\Delta L}; \tag{6.4}$$

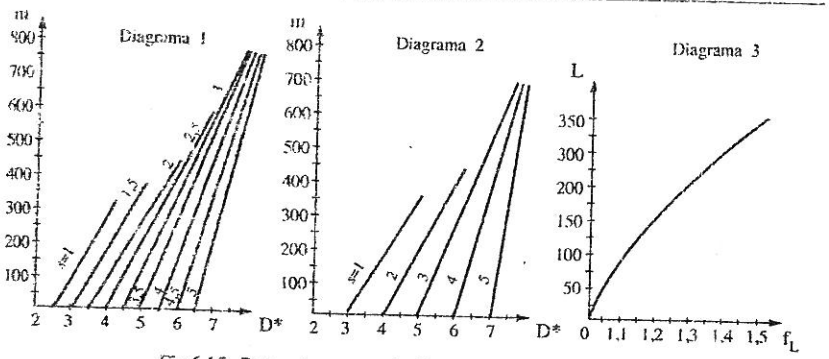


Fig.6.15. Determinarea secțiunilor canalelor de distribuție:
1 - diagramă valabilă pentru PS, ABS, SAN, CAB; 2 - diagramă valabilă pentru PE, PP, PA PC, POM; 3 - diagramă pentru determinarea factorului de corecție; S - grosimea peretelui piesei [mm]; D - diametrul canalului [mm]; m - masa piesei injectate [g]; L - lungimea canalului până la cavitate [mm]; f_L - factorul de corecție.

- dreptunghiulare

$$Q = \frac{\Delta p\, a^2 b^2}{2K(a+b)\Delta L}, \tag{6.5}$$

unde:

- Q - debitul de material prin secțiune [cm^3/s];
- R - raza canalului circular [cm];
- Δp - pierderile de presiune în canal [cm^2/s];
- K - constantă;
- ΔL - lungimea canalului [cm];
- a, b - dimensiunile secțiunii dreptunghiulare [cm].

Pentru secțiunea circulară și cea pătrată, din relațiile (6.4) și (6.5) se pot determina secțiunile canalelor:

- secțiune circulară,

$$D = 2\sqrt[3]{\frac{2K\Delta LQ}{\pi\Delta p}}; \tag{6.6}$$

- secțiune pătrată,

$$a = \sqrt[3]{\frac{4K\Delta LQ}{\Delta p}}; \tag{6.7}$$

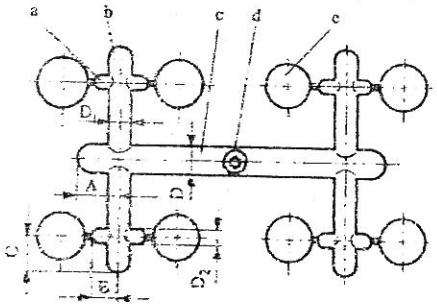


Fig.6.16. Sistem de injectare cu canale de distribuție:
a, b - canale de distribuție secundare; c - canal de distribuție principal; d - culee; e - piesă injectată.

În *fig.6.16* este prezentat un sistem de injectare cu canale de distribuție. În [23] se recomandă conform *fig.6.16* pentru canalele circulare de diametre D, D_1 și D_2 următoarele relații: $A = D$; $B = D$; $C = D$.

6.3.2.2. Diguri

Digul face legătura dintre canalul de distribuție și cuibul matriței. Există mai multe tipuri de diguri care se folosesc la injectarea materialelor termoplastice (*fig.6.17*). Variantele constructive (*fig.6.17.c*, e) permit separarea completă a rețelei de piesa injectată, dar în unele cazuri se produc desprinderi de material din peretele piesei. Variantele constructive (*fig.6.17.d*, *f*) se folosesc în cazul în care se dorește ca peretele piesei injectate să rămână intact.

Dimensiunile digurilor se recomandă pe cale empirică de fiecare producător de material, dar se pot da valori orientative conform *fig.6.18*:

- pentru dig cu secțiune dreptunghiulară: L = (0,5...1,2) mm; B = (0,5...1,2) mm; $A = D$ - 1,5 mm;
- pentru dig cu secțiune circulară: L = (1,5...2) mm; d = (0,6...3) mm.

Dimensionarea reologică a canalelor de injectare și a digurilor canalelor se face în lucrările [20, 24] luând în considerare ipoteze simplificatoare la curgerea materialelor plastice prin canale (curgere staționară, izotermă, laminară și monoaxială). Pornindu-se de la ecuația lui Newton generalizată se tabilesc relații de dimensionare a canalelor

$$\tau = \mu\dot{\gamma}^n, \tag{6.8}$$

unde:

- τ - efortul unitar de forfecare;
- $\dot{\gamma}$ - viteza de forfecare sau reopanta;
- n - coeficient pentru materiale plastice, n = 0,33...1;
- μ - vâscozitatea aparentă.

Se folosesc mai multe relații de calcul.

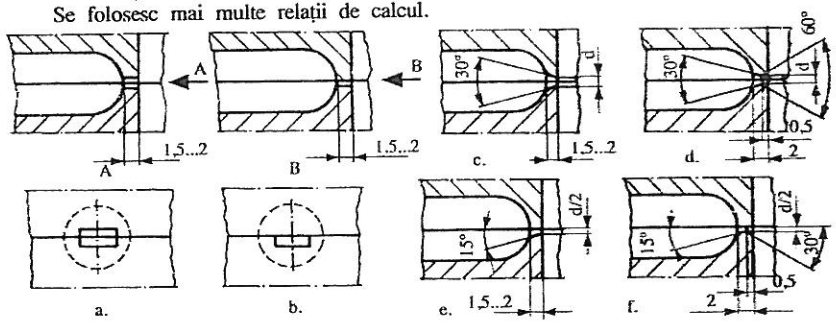


Fig.6.17. Diguri:
a - dreptunghiular; b - dreptunghiular excentric; c - circular; d - circular cu protecție; e - semicircular; f - semicircular cu protecție;

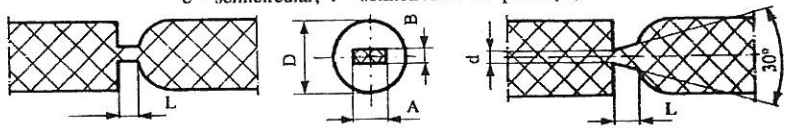


Fig.6.18. Geometria digurilor.

Relații dintre forma canalului, pierderea de presiune și debit:

- pentru canale circulare (*fig.6.19.a*)

$$\tau = \frac{\Delta p\, R}{2K}, \tag{6.9}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R^3}, \tag{6.10}$$

$$Q = \left(\frac{\Delta p}{2L\mu}\right)^m \left(\frac{\pi}{m+3}\right) R^{m+3}, \tag{6.11}$$

unde:

- Δp - pierderea de presiune;
- R - raza canalului;
- L - lungimea canalului;
- Q - debitul prin secțiune;
- m - constantă. Se recomandă $m = 1...3$ $(m = 1/n)$.

- pentru un profil dreptunghiular sau trapezoidal, relațiile sunt valabile pentru $w > 10\ h$ (*fig.6.19.b*)

$$\tau = \frac{\Delta p\, h}{2L}, \tag{6.12}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{6Q}{Wh^2}, \tag{6.13}$$

$$Q = \left(\frac{\Delta p}{2L\mu}\right)^m \frac{1}{2(m+2)} h^{m+2} \cdot w, \tag{6.14}$$

unde:

- w - lățimea canalului;
- h - înălțimea canalului.

- pentru secțiune inelară (*fig.6.19.c*)

$$\tau = \frac{\Delta p\,(R - r)}{2L}, \tag{6.15}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{4Q}{(R + r)(R - r)^2}, \tag{6.16}$$

$$Q = \left(\frac{\Delta p}{2L\mu}\right)^m \frac{\pi}{2(m+2)} (R + r)(R - r)^{2+m}, \tag{6.17}$$

unde:

- R - raza exterioară;
- r - raza interioară.

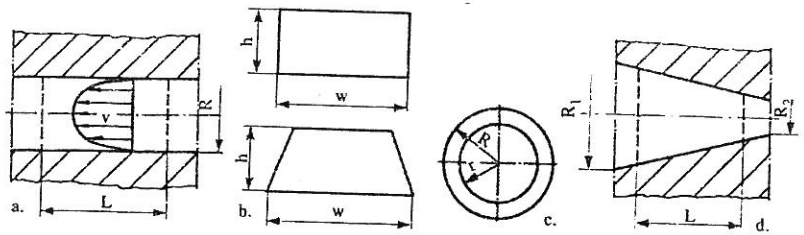


Fig.6.19. Dimensionarea reologică a digurilor.

- pentru un orificiu conic (*fig.6.19.d*)

$$\tau = \frac{\Delta p\, R_1}{2L}(1 - \beta), \tag{6.18}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi R_2^3}\left(\frac{1 - \beta^{3n}}{3n}\right), \tag{6.19}$$

$$Q = \frac{\pi}{4}\left(\frac{3}{m}\right)^m \frac{\Delta p R_1^3 R_2^3}{\mu^m (R_1^{3/m} - R_2^{3/m})}, \tag{6.20}$$

unde:

- R_1, R_2 - razele orificiului conic; $\beta = R_2 / R_1$.

În cazul unor astfel de secțiuni circulare, semicirculare, dreptunghiulare, trapezoidale, inelare se introduce noțiunea de *rază hidraulică*

$$r_h = \frac{2A}{C}, \tag{6.21}$$

unde:

- A - aria secțiunii;
- C - perimetrul secțiunii.

Vâscozitatea topiturii materialului plastic. Vâscozitatea μ a unei topituri de material plastic la o anumită temperatură T poate fi determinată printr-o interpolare liniară cu relația

$$\ln \mu = \ln \mu_1 + \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} \ln \frac{\mu_1}{\mu_2}, \tag{6.22}$$

unde:

- T_1, T_2 - temperaturi ale materialului;
- μ_1, μ_2 - vâscozitățile materialului la T_1 și T_2.

Ecuația de stare Van der Waals

$$(p + p_i)(V - V') = R'T, \tag{6.23}$$

unde:

- p - presiunea topiturii;
- p_i - presiunea internă a topiturii;
- V - volumul specific;
- V' - constantă de material;
- R' - constantă de material;
- T - temperatura topiturii.

Valori pentru p_i, V_i și R' sunt oferite în *tab.6.3* [12, 24].

Încălzirea materialului la trecerea prin canal

$$\Delta t = \frac{\Delta p}{42{,}7 C_p \gamma}, \tag{6.24}$$

Tab.6.3. Constante de material pentru diferite materiale termoplastice cu reacția lui Van der Waals.

Material	V' [cm/g³]	p_i [kP/cm²]	R'
polistiren	0,822	1840	0,79
polimetacrilat de metil	0,734	2130	0,82
etil celuloză	0,720	2370	1,35
acetobutirat de celuloză	0,688	2810	1,50
polietilenă	0,875	3240	2,92

unde:

- Δt - creșterea de temperatură la trecerea materialului plastic prin canal;
- C_p - căldura specifică;
- γ - greutatea specifică.

Pierderi la intrare în canale. Relațiile anterioare sunt valabile pentru curgeri staționare, laminare și laminare. Asemenea condiții sunt îndeplinite numai la canalele suficient de lungi. Dacă canalul este scurt, la intrare apare turbulență care va fi luată în considerare prin relația

$$L_c = L_r \frac{b(a+b)}{a(a+c)}, \qquad (6.25)$$

unde:

- L_c - lungime de corecție a canalului;
- L_r - lungime reală (efectivă);
- a - valoarea vâscozimetrului ($a = L/R$);
- b - valoarea canalului luat în considerare ($b = L/R$).

Valorile de vascozitate introduse în calcule nu sunt dependente numai de temperatură și de lungimea de forfecare și viteza de forfecare. Astfel, pentru secțiunile circulare, valoarea exponentului necesară în calcule se poate determina din două măsurători, la presiuni diferite Δp_1 și Δp_2 cu debitele Q_1 și Q_2.

În [20] se obține relația

$$n = \frac{lg\,\tau_1 - lg\,\tau_2}{lg\,\dot{\gamma}_1 - lg\,\dot{\gamma}_2}. \qquad (6.26)$$

Cunoscând valoarea lui n se pot calcula cu ajutorul relației (6.8) valorile pentru vâscozitatea aparentă $\mu_1 = \tau_1/\dot{\gamma}_1^n$; $\mu_2 = \tau_2/\dot{\gamma}_2^n$. Dacă cele două valori diferă se consideră valoarea medie.

Valorile de vâscozitate ce se pot calcula cu relația (6.8) se pot determina din diagrame viteză de forfecare ($\dot{\gamma}$) - efort unitar de forfecare (τ) la diferite temperaturi. Astfel, în *fig.6.20, 21* se prezintă diagrame pentru două materiale termoplastice.

Utilizarea expresiilor (6.9...6.26), a *tab.6.3* precum și a diagramelor din *fig.6.20...21* permite calculul exact a canalelor și digurilor unei matrițe cu canale de distribuție. Exemple de calcul sunt oferite în [20, 24].

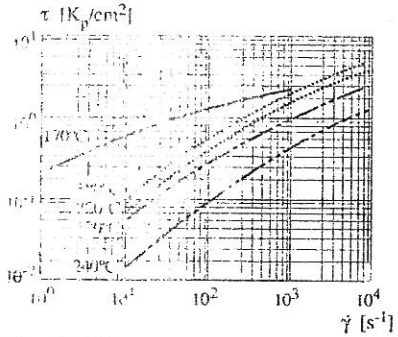


Fig.6.20. Diagramă viteză de forfecare - efort unitar de forfecare pentru polietilenă: 1 - Vestolen A 60 16 (Hüls); 2 - polietilenă MFI 190/2=20 pentru injectare (ICI); 3 - polietilenă MFI 190/2=0,3 pentru extrudare (ICI);

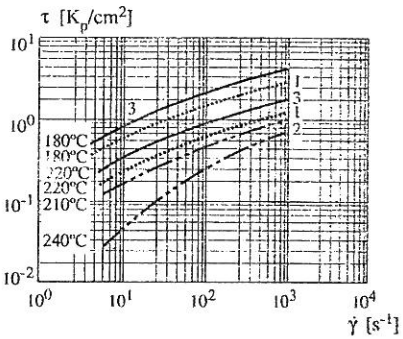


Fig.6.21. Diagramă viteză de forfecare - efort unitar de forfecare pentru polistiren: 1 - Vestyron 214 (Hüls); 2 - Polystiren Impact (ICI); 3 - Vestyron X2604 (Hüls).

6.3.3. Injectarea punctiformă

Tendința ca urma locului de injectare pe suprafața piesei să fie cât mai mică a dus la descoperirea sistemului de *injectare punctiformă*. Prin acest sistem materialul plastic ajunge direct la cuib (asemănător injectării cu duză normală) printr-un canal cu conicitate foarte mare.

În *fig.6.22* sunt prezentate diferite variante de canale pentru injectarea punctiformă. Variantele din *fig.6.22.a* și *c* produc desprinderi, ruperi din materialul piesei, în timp ce variantele din *fig.6.22.b* și *d* înlătură acest neajuns. Injectarea punctiformă necesită, pentru extragerea rețelei, matrițe de injectat cu deschidere în trepte.

În *tab.6.4* sunt date diametrele recomandate pentru duze punctiforme în funcție de cantitatea de material plastic injectat.

În timpul funcționării matrițelor de injectat cu canale punctiforme pot apărea unele inconveniente la eliminarea rețelei, datorită unor fire de material ce rămân între piesă și rețea. Necesitatea eliminării acestui inconvenient, precum și a reducerii duratei ciclului de injectare a condus la o variantă îmbunătățită a sistemului și anume *injectarea punctiformă cu antecameră*. În această variantă digul punctiform vine în contact cu o porțiune mărită a canalului care formează antecamera. La prima injectare antecamera se umple cu material plastifiat care, jucând rol de izolator, permite injectarea continuă în zona centrală (*fig.6.23*). Pentru ușurarea extragerii dopului de material plastic din antecameră, duza mașinii de injectat este prevăzută cu degajări.

Tab.6.4. Diametrele orificiului *d* ale duzelor punctiforme.

Masa materialului injectat [g]	Diametrul orificiului *d* [mm]
0...10	0,6...0,8
11...20	0,8...1,2
21...40	1,0...1,8
41...150	1,2...2,5
151...300	1,5...2,6
301...500	1,8...2,8

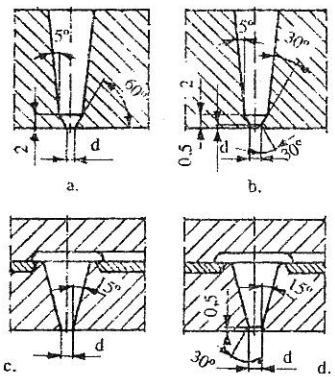


Fig.6.22. Forme constructive de duze punctiforme.

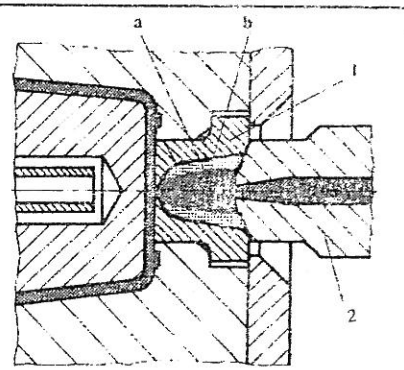


Fig.6.23. Injectarea punctiformă cu antecameră: 1 - antecameră; 2 - duza mașinii; a - material plastic izolator; b - material plastic în topitură.

O variantă îmbunătățită a injectării punctiforme cu antecameră este prezentată în *fig.6.24* unde, pentru a micșora pierderile de căldură, duza antecamerei este îndepărtată de placa matriței cu ajutorul unor arcuri elicoidale. Raportul dintre cantitatea de material injectat, numărul de cicluri de injectare pe minut și dimensiunile geometrice ale duzei cu antecameră sunt prezentate în *tab.6.5.*

Foarte des întâlnită pentru injectarea punctiformă cu antecameră este soluția constructivă prezentată în *fig.6.25.* În acest caz, miezul antecamerei se ține în stare plastifiată permanent cu ajutorul unei duze punctiforme dintr-un material bun conducător de căldură (Cu) care preia căldura în permanență de la cilindrul mașinii de injectat. Acest „miez cald", precum și stratul de material plastic ce joacă rol de izolator, strat care se află în interiorul antecamerei, permite o injectare permanentă. Se impune ca distanța dintre capul duzei punctiforme a mașinii *2* și fundul antecamerei *1* să fie $L = (0{,}5...1)$mm.

Tab.6.5. **Dimensiunile duzelor cu antecameră.**

Cantitatea de material injectat [g]	3...6	7...15	15...40	41...150
Numărul de cicluri pe minut	8...10	6...7	4...5	2...3
D [mm]	8,8	10	11,2	13,7
d [mm]	0,8...1	1...1,2	1,2...1,6	1,5...2,5
b [mm]	0,5	0,6	0,7	0,8
R [mm]	3,5	4	4,5	5,5

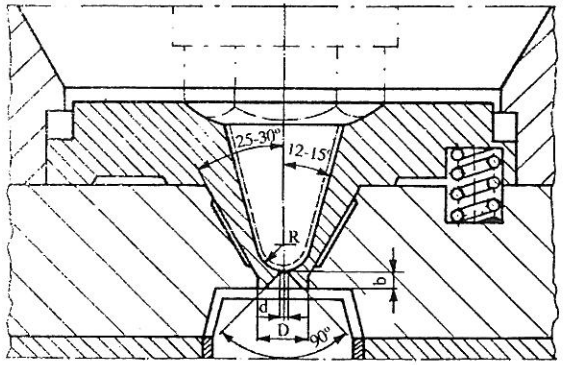


Fig.6.24. Duză cu antecameră.

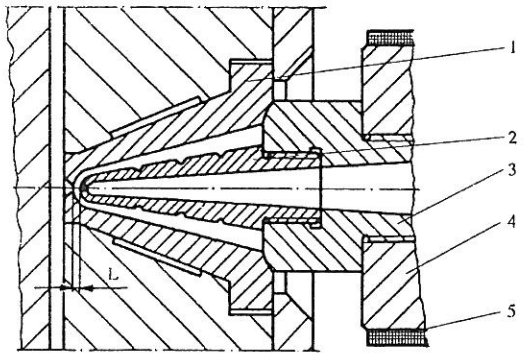


Fig.6.25. Injectarea cu antecameră:
1 - antecameră;
2 - duza mașinii;
3 - suport duză;
4 - cilindrul mașinii;
5 - corp de încălzire.

În general, injectarea punctiformă este recomandată pentru piesele cu pereți subțiri. Datorită sigilării rapide în zona digului, presiunea ulterioară aplicată de mașina de injectat este mai puțin eficace ca la injectarea directă cu duză normală. Din acest motiv, piesele injectate prin acest procedeu prezintă, de obicei, contracții mai mari. Aplicarea corectă a acestui sistem presupune funcționarea continuă, deoarece oprirea mașinii duce la solidificarea materialului în antecameră și deci la imposibilitatea efectuării injectării următoare.

6.3.4. Injectarea peliculară sau film

Multor piese liniare ca: liniare, rigle de calcul, vizoare pentru calculatoare, etc., li se impun condiții severe din punct de vedere a proprietăților optice și a proprietăților mecanice. Deoarece proprietățile optice și proprietățile mecanice sunt în corespondență directă cu proprietățile de curgere, injectarea peliculară sau film se recomandă în aceste cazuri. Dezavantajele injectării unor astfel de piese printr-un punct sau prin mai multe puncte sunt eliminate prin folosirea injectării peliculare, astfel:

- evitarea liniilor de întâlnire pe suprafața piesei;
- evitarea incluziunilor de aer;
- o mai bună apreciere a contracțiilor piesei injectate.

Injectarea peliculară se realizează astfel încât, dintr-un canal de distribuție materialul plastic ajunge în cuibul matriței printr-un dig cu lățimea foarte mare; se formează astfel între rețea și piesa injectată un „film" sau o „peliculă" (*fig.6.26*).

La injectarea peliculară trebuie să se respecte relația: $D = (s - 4/3s) + k$, unde: $k = 2$ mm pentru lungimi mici și secțiuni mari, $k = 4$ mm pentru lungimi mari de curgere și secțiuni mici. Se recomandă de asemenea: $h = (0{,}2...0{,}7)\ s$; $l = (0{,}5...2)$.

Pentru a realiza o umplere uniformă a piesei injectate în cazul în care $L/s < <100...150$ (L - lungimea de curgere; s - grosimea de piesă) se aplică injectarea peliculară cu variația grosimii digului pe lățime (*fig.6.27*).

Există și alte soluții constructive pentru injectarea peliculară laterală (*fig.6.28*). În cazul injectării pieselor cu suprafață mare în matrițe de injectat cu un singur cuib se aplică injectarea peliculară centrală (*fig.6.29*). În acest caz, pentru eliminarea rețelei de injectare se construiește o matriță cu deschidere prin bacuri.

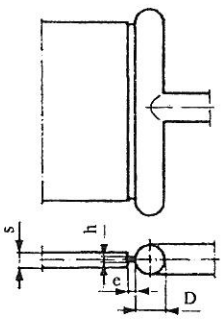


Fig.6.26. Injectarea peliculară.

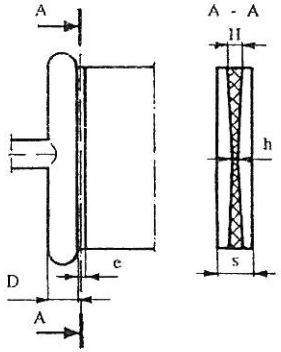


Fig.6.27. Injectarea peliculară cu secțiune variabilă.

6.3.5. Injectarea tip umbrelă

Pentru piesele tubulare (bucşe, bobine, etc.) injectarea în centrul piesei este cea mai convenabilă datorită drumului minim pe care îl parcurge materialul plastic pentru umplerea cuibului. Dacă o astfel de piesă se injectează în mai multe puncte folosind canalele de distribuţie, se produc deformări ale piesei pe direcţia radială. Sistemul de *injectare tip umbrelă* înlătură inconvenientul menţionat. Conform injectării tip umbrelă, de la canalul central materialul ajunge la o piesă prin intermediul unui canal în formă de pâlnie (*fig.6.30.a*) sau în formă de disc (*fig.6.30.b*).

Injectarea tip umbrelă se poate aplica în bune condiţii atunci când se respectă relaţia: $D/H \geq 1/5$ (unde: D - diametrul exterior al piesei injectate; H - înălţimea piesei injectate). Atunci când înălţimea piesei creşte, există pericolul ca poansonul pe care se injectează piesa să se încovoaie în timpul injectării. Din acest motiv poansonul se sprijină în 3 puncte (*fig.6.31*). Pentru acest tip de injectare se recomandă: $e = (0,6...1)$ mm; $\alpha = 90°$.

6.3.6. Injectarea inelară

Injectarea pieselor cu simetrie rotativă se poate realiza cu ajutorul sistemului de *injectare inelară*, sistem prin care materialul plastic, dintr-un canal de distribuţie inelar,

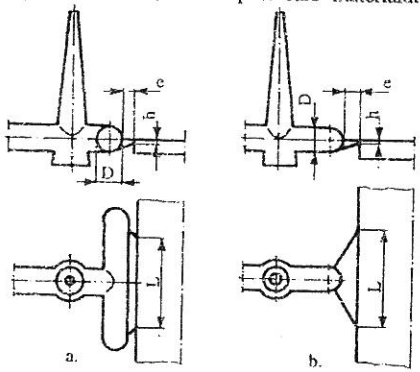


Fig.6.28. Soluţii de injectare peliculară.

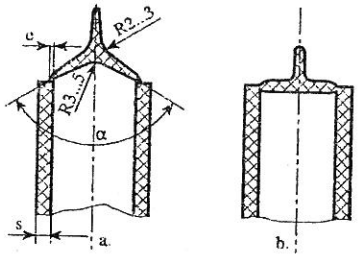


Fig.6.30. Injectarea tip umbrelă:
a - în formă de pâlnie; b - în formă de disc.

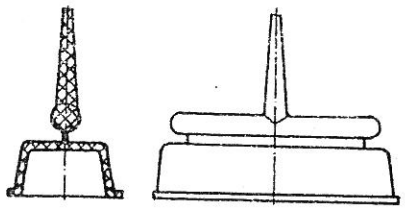


Fig.6.29. Injectare peliculară centrală.

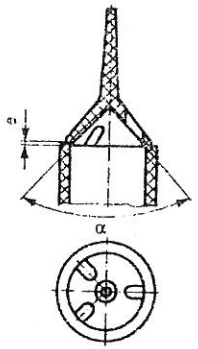


Fig.6.31. Injectarea tip umbrelă cu poansonul sprijinit.

ajunge printr-un dig peliculat în cuibul matriţei (*fig.6.32*). Pentru acest tip de injectare se recomandă să se respecte dimensiunile: $D = s + 1,5$ mm; $H_1 = 2s$; $h = (0,5...2)$ mm; $l = (0,4...1,2)$ mm; $H_2 = 2s$.

Injectarea inelară permite obţinerea la piesa injectată a unei rezistenţe mecanice mărite, precizie dimensională mai mare, evitarea urmelor de curgere.

Injectarea inelară se poate realiza cu canal de distribuţie cu secţiune circulară plasat la exteriorul piesei injectate sau la interiorul piesei injectate (*fig.6.33*). Pentru injectarea interioară inelară se recomandă următoarele dimensiuni: $D = s + 1,5$ mm; $l = (0,5...1,5)$ mm; $h = (1...1,2)$ mm. Pentru injectarea exterioară inelară se recomandă următoarele dimensiuni: $D = (s + 1,5) - 4s$ mm; $l = (0,5...1,5)$ mm; $h = 2/3s - 1...2$ mm.

6.3.7. Injectare cu canal tunel

Prin sistemul de *injectare cu canal tunel*, de la duza de injectare, materialul plastic ajunge la cuibul matriţei prin intermediul unui canal de distribuţie pus în legătură cu un canal conic înclinat (*fig.6.34*). Canalul tunel poate fi practicat în matriţă în partea mobilă sau în partea fixă.

Funcţionarea unei matriţe care foloseşte sistemul de injectare cu canal tunel este prezentată în *fig.6.35*. La deschiderea matriţei, piesa injectată *b*, contractată pe poanson, se separă de reţeaua de injectare *a* reţinută de extractorul central prin forfecarea digului la zona de contact. Piesa este aruncată din matriţă de către aruncătoare, iar reţeaua este aruncată separat de către aruncătorul central.

În [21, 19] se recomandă pentru canalul conic rotunjit construcţia din *fig.6.36*. Dimensiunile recomandate pentru această construcţie sunt: $d = (0,7...2,5)$ mm; $D = (3...6)$ mm; $L < 5$ mm; $\alpha = 20...50°$; $\beta = 5...20°$.

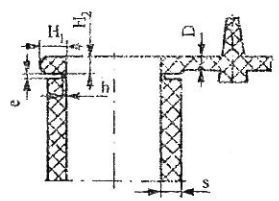
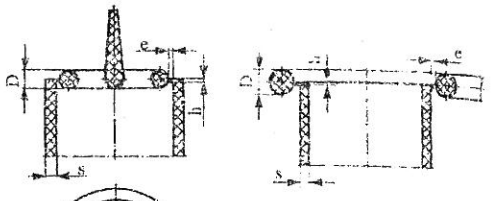


Fig.6.32. Injectarea inelară.



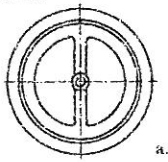


Fig.6.33. Tip de injectarea inelară:
a - injectare inelară interioară;
b - injectare inelară exterioară.

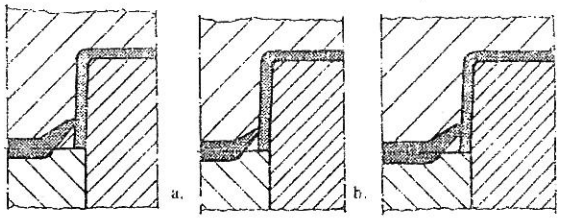


Fig.6.34. Injectarea cu canal tunel:
a - canal tunel rotunjit;
b - canal conic ascuţit;
c - canal tronconic.

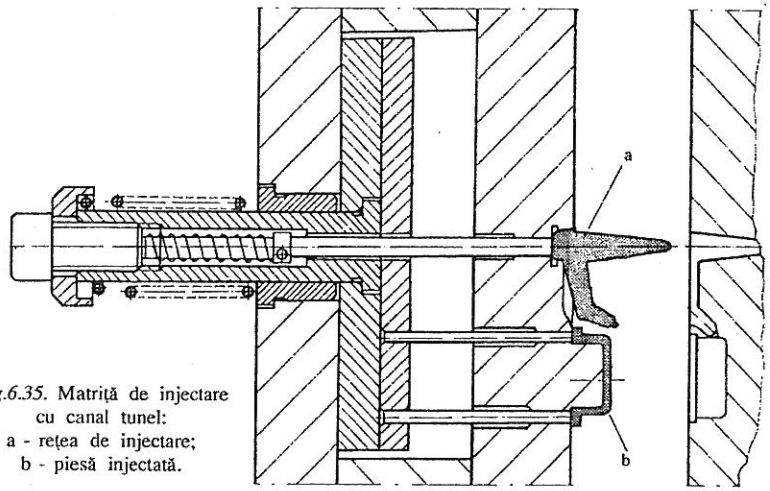


Fig.6.35. Matriță de injectare cu canal tunel:
a - rețea de injectare;
b - piesă injectată.

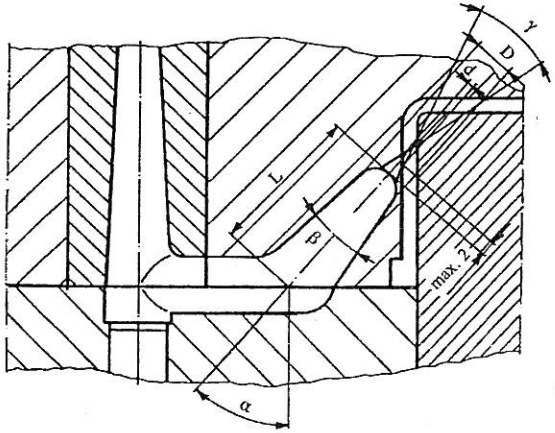


Fig.6.36. Canal conic rotunjit.

În [25] se recomandă pentru canalul tunel tronconic soluția din *fig.6.37.* Pentru calculul dimensiunilor canalului se dau următoarele relații [25]

$$h = \frac{e}{tg(\beta - \alpha)}; \tag{6.27}$$

$$D_M = sin(\beta - \alpha)\cdot g; \tag{6.28}$$

$$a = \frac{l}{\cos\beta(tg\alpha + tg\beta)}\left(\frac{d}{2} + g\cos\beta \cdot tg\alpha\right); \tag{6.29}$$

$$b = a\sqrt{\frac{d\dfrac{sin(\beta - \alpha)}{\cos\beta} - g\left[\dfrac{sin(\beta - \alpha)}{\cos\alpha}\right]^2}{2a - g}}; \tag{6.30}$$

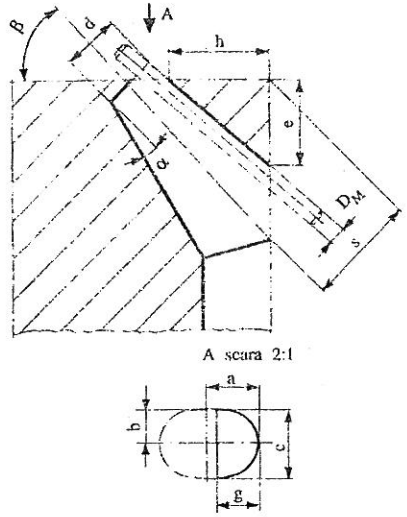


Fig.6.37. Canal tunel tronconic:
a, b - dimensiunile elipsei; D_M - diametrul știftului de măsurare; A - aria spărturii.

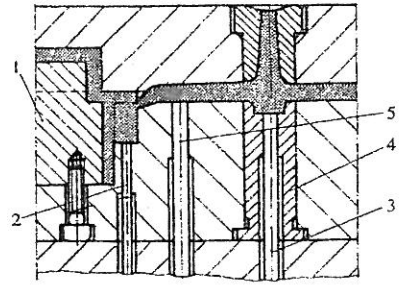


Fig.6.38. Injectarea cu canal tunel în partea aruncării: 1 - poanson; 2 - aruncător; 3 - aruncător central; 4 - bucșă extractoare; 5 - aruncător.

$$s = \frac{d}{2} + g\cos\beta\cdot tg\alpha + \frac{e\sin\beta}{tg(\beta - \alpha)}; \tag{6.31}$$

$$c = 2\sqrt{dg\frac{sin(\beta - \alpha)}{\cos\alpha} - \left[g\frac{sin(\beta - \alpha)}{\cos\alpha}\right]^2}; \tag{6.32}$$

$$A = ab\frac{\pi}{2} - ab\left(1 - \frac{g}{a}\right)\sqrt{\left(2 - \frac{g}{a}\right)\frac{g}{a}} + arcsin\left(1 - \frac{g}{a}\right). \tag{6.33}$$

Canalul tunel se poate practica și în partea mobilă a matriței (*fig.6.38*). La deschiderea matriței piesa este reținută pe poanson, iar rețeaua este reținută de bucșa extractoare. La sfârșitul cursei de închidere, piesa este aruncată de aruncătoarele *2*, iar rețeaua de injectare de către aruncătoarele *4* și *5*, rețeaua separându-se prin forfecare de piesă în zona digului.

O soluție interesantă de injectare prin canal tunel este prezentată în *fig.6.39.* În acest caz tunelul, plasat în partea mobilă, este pus în legătură cu un canal suplimentar plasat chiar în aruncător.

Sistemul cu canal tunel este propice mai ales pentru injectarea materialelor plastice cu elasticitate mare. În cazul materialelor plastice fragile există pericolul ca la extragerea forțată a rețelei de injectare din canalul tunel să se producă ruperea acesteia. Este recomandabil ca în aceste cazuri să se mărească diametrele canalelor de distribuție astfel încât, în momentul extragerii rețelei de injectare din canal, aceasta să nu fie complet solidificată și astfel să fie mai rezistentă la încovoierea inevitabilă la care este supusă.

O variantă mai nouă a canalului tunel este *canalul tunel curbat* (*fig.6.40*). Pentru canalul tunel curbat se recomandă dimensiunile: $d = (0{,}8...2{,}5)$ mm; $d \le D$; $D = (4...6)$ mm; $x / D \ge 2{,}5$; $R = (2{,}5...3)\ d_1$ mm; $e = 0{,}5$ mm; $e_1 = (0{,}3...2)$ mm. Se recomandă la canalul tunel curbat între d_1 și d_2 să fie o conicitate cuprinsă între 3...5°, astfel încât

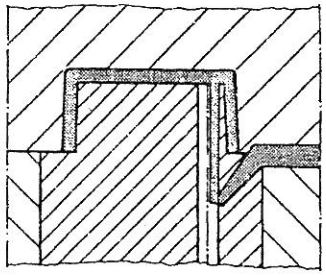


Fig.6.39. Injectare cu canal tunel.

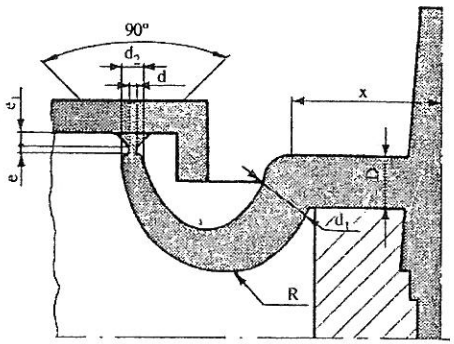


Fig.6.40. Schema de principiu a sistemului de injectare cu canal tunel curbat.

deformațiile să fie proporționale pe toată lungimea canalului. Extracția canalului curbat este ușurată dacă canalul de distribuție conic are grosime mică. Zona de conducere a rețelei în bucșă extractoare, la sistemul cu canal tunel curbat, se recomandă să fie mai lungă decât la celelate sisteme de injectare.

Un sistem de injectare cu canal tunel curbat în funcțiune poate fi urmărit în *fig.6.41*. Materialul plastic din duza mașinii ajunge, prin intermediul canalelor de distribuție și prin canalul tunel curbat, la piesa injectată. Piesa injectată este aruncată de pe poanson de către aruncătoare, iar rețeaua este aruncată de către aruncătorul central. Se produce o retezare forțată în zona digului, între piesă și rețea. Canalul curbat este extras forțat din locașul său.

Canalul tunel curbat poate fi amplasat în matriță atât în partea mobilă cât și în partea fixă. Există două posibilități de execuție a locașului canalului tunel. În prima variantă canalul tunel se realizează în două pastile, în fiecare pastilă executându-se câte o jumătate de canal. În a doua variantă constructivă canalul tunel se execută conform construcției prezentate în *fig.6.42*.

Injectarea cu canal tunel curbat este foarte convenabilă pentru realizarea roților dințate din material plastic. Prin sistemul de injectare clasic roțile dințate se injectează în zona frontală, necesitând matrițe de injectat complicate cu deschidere în trepte.

6.3.8. Injectarea cu canale izolate

Rentabilitatea procedeului de injectare a materialelor plastice crește o dată cu micșorarea volumului rețelei de injectare. Acest lucru este ușor de realizat la matrițele cu un singur cuib, folosind sistemul de injectare punctiformă cu antecameră.

În cazul matrițelor de injectare cu mai multe cuiburi sau pentru cele cu un singur cuib destinate pieselor cu volum mare, pentru care injectarea trebuie făcută în mai multe puncte, se folosește sistemul de *injectare cu canale izolate* (*fig.6.43*). În cazul acestui procedeu, de la duza centrală a matriței se ramifică spre cuiburi canale cu secțiune transversală neobișnuit de mare. Materialul plastic aflat în aceste canale de distribuție se răcește, formând o crustă care izolează termic materialul plastic topit aflat în mijlocul canalului de distribuție și care este reînoit la fiecare ciclu de injectare. Sistemul de injectare cu canale izolate în varianta prezentată în *fig.6.43* este folosit pentru materiale termoplastice cu entalpie mare și cu un domeniu de prelucrare mai larg

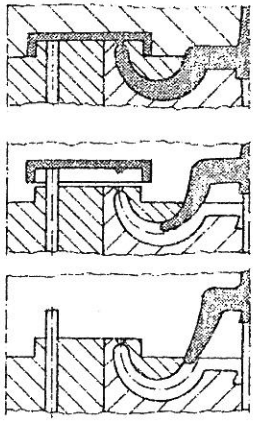


Fig.6.41. Canal tunel curbat în funcțiune.

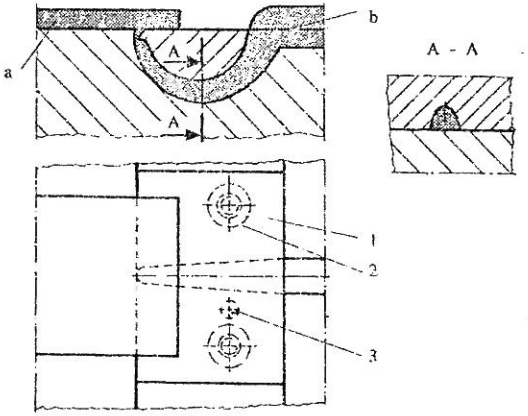


Fig.6.42. Realizarea în matriță a sistemului de injectare cu canal tunel curbat: a - piesă injectată; b - rețea; 1 - pastilă; 2 - șurub; 3 - știft de centrare.

(polietilena, polipropilena, acetatul de celuloză, etc.). Se recomandă ca temperatura de prelucrare în acest caz să fie mai ridicată și ciclul de injectare mai rapid (în jur de 20 sec.). Diametrul canalelor pentru materialele menționate trebuie să fie de 18...20 mm, iar lungimea lor până la 200 mm.

O altă variantă a sistemului de injectare cu canale izolate este prezentată în *fig.6.44*. În acest caz, în interiorul canalului în apropierea antecamerei, se introduce un patron de încălzire. Soluția reprezintă un compromis între sistemul de injectare cu canale autoizolate și sistemul de injectare cu canale încălzite. Acest sistem este recomandat pentru materiale plastice cum sunt poliamida, policarbonatul, polietilentereftalatul sau poliacetalul, care au puncte de topire înalte și la care este necesară încălzirea antecamerei. Diametrele recomandate pentru canalele de distribuție sunt de 20...25 mm, valabile pentru lungimi de canal până la 200 mm.

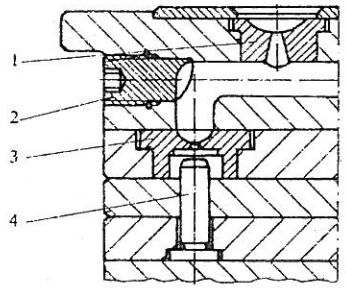


Fig.6.43. Injectarea cu canale izolate: 1 - duză; 2 - dop; 3 - pastilă; 4 - poanson.

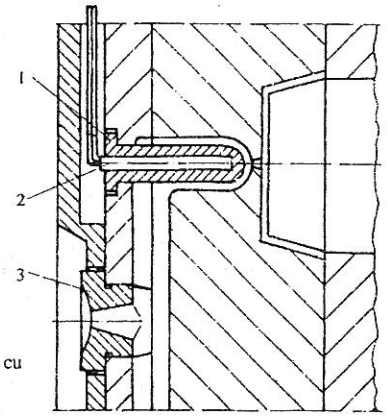


Fig.6.44. Încălzirea cu canale izolate cu duză cu antecameră încălzită: 1 - teacă; 2 - patron de încălzire; 3 - duză.

În cazul unor staționări prelungite ale mașinii sau în cazul unor defecțiuni ale acesteia, materialul plastic din interiorul canalului se întărește în toată secțiunea și trebuie scos pentru a putea continua injectarea. Din acest motiv, matrițele cu canale izolate se prevăd cu un plan de deschidere suplimentar în zona canalului de distribuție (*fig.6.45*). Prin mutarea elementului de fixare cu ghiare *2* în zona planului de separație *I*, se poate deschide matrița de injectat în zona planului de separație suplimentar *II*. Poziționarea canalelor de distribuție izolate se realizează prin intermediul piesei de centrare *3*, care în același timp servește și pentru extragerea culeei la deschiderea matriței de injectat în planul de separație *II*.

Matrițele de injectat cu canale izolate prezintă următoarele avantaje:

- posibilitatea injectării unor repere greu de obținut prin alte metode;
- eliminarea rețelei de injectare și a manoperei necesare îndepărtării acesteia;
- posibilitatea funcționării matriței în ciclu automat.

6.3.9. Injectarea cu canale încălzite

Sistemul de *injectare cu canale încălzite* permite realizarea de economii la fabricarea pieselor din materiale plastice și este recomandabil să fie utilizat datorită următoarelor avantaje:

- permite economisirea materialului plastic din canalele de distribuție;
- asigură eliminarea manoperei necesare pentru îndepărtarea culeei;
- asigură obținerea pieselor mici, în matrițe cu multe cuiburi, când volumul canalelor de distribuție este mai mare sau egal cu volumul pieselor care se injectează;
- permite obținerea pieselor în matrițe cu un singur cuib, pentru care se impune o calitate superioară a suprafeței, care nu s-ar putea obține prin injectare laterală.

Cu toate avantajele sale, sistemul de injectare cu canale încălzite este folosit mai rar, datorită unor dificultăți care apar în construcția matriței și a costului ridicat al matriței. Acestea sunt determinate de problemele pe care le implică izolarea plăcilor canalelor calde față de matriță și față de piesa injectată, de modalitatea de încălzire a plăcii care conține canalele de distribuție precum și de asigurarea preciziei necesare prelucrării duzei de injectare, pentru buna funcționare a sistemului.

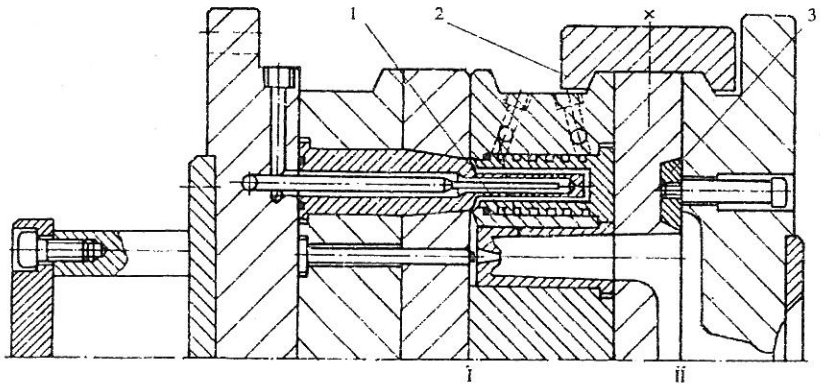
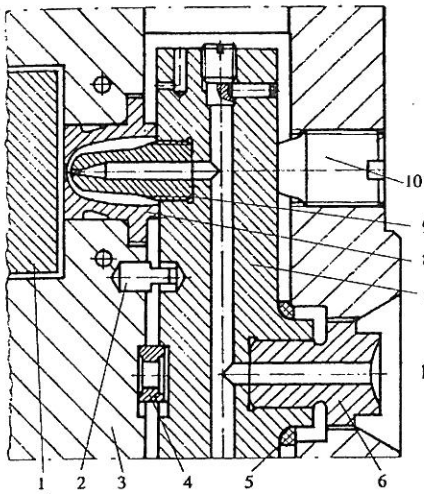


Fig.6.45. Injectare cu canale izolate și plan de deschidere suplimentar:
1 - duză; 2 - element de fixare cu ghiare; 3 - piesă de centrare.



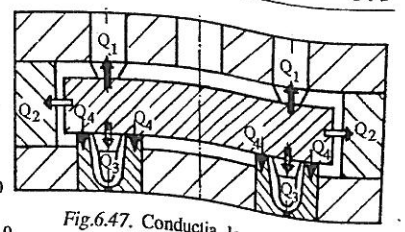


Fig.6.47. Conducția la o matriță cu canale încălzite.

Fig.6.46. Matriță cu canale încălzite:
1 - poanson; 2 - știft de blocare; 3 - placă de formare; 4 - piesă de centrare; 5 - inel izolator; 6 - duză centrală; 7 - distribuitor; 8 - antecameră; 9 - duză punctiformă; 10 - dop de presiune.

În *fig.6.46* este prezentat simplificat sistemul de injectare cu canale încălzite. Materialul plastic de la duza mașinii de injectat pătrunde în duza centrală *6* a matriței. Prin canalele de distribuție ale distribuitorului *7*, încălzit cu ajutorul unor corpuri de încălzire, materialul plastic plastifiat ajunge la duza de injectare *9*, în antecamera *8* și apoi la cuiburile matriței de injectat.

6.3.9.1. Transferul termic în matriță

Pentru studiul transferului termic în cazul unei matrițe cu canale încălzite se ia ca model soluția constructivă cu distribuitorul *7* încălzit și cu duza *9* cu încălzire indirectă (de la bloc) în conformitatte cu *fig.6.46*.

Propagarea căldurii de la distribuitorul încălzit spre celelate elemente ale matriței se face în trei moduri: conducție termică, convecție și radiație [26, 27]. Pentru studiul transferului termic se fac ipoteze simplificatoare: regim termic staționar, materialul metalic este omogen și izotrop. Tema este tratată în multe lucrări de specialitate [28..32, 34, 36, 37].

Transfer termic prin conducție. Pentru studiul transmiterii căldurii prin conducție la matrița cu canale încălzite se consideră schema simplificată conform *fig.6.47*. Transferul de căldură se face de la distribuitorul încălzit către dopurile de presiune (Q_1), către aerul înconjurător (Q_2), către duză (Q_3) și către antecameră (Q_4).

Se asimilează distribuitorul încălzit cu un perete plan paralel din material omogen și izotrop (*fig.6.48*). Expresia fluxului de căldură prin conducte se exprimă cu relația

$$Q_{cd} = A\frac{\lambda}{\delta}(T_1 - T_2) \quad [W], \tag{6.34}$$

unde:

- A - suprafața peretelui, $A = h \times L$ [m^2];
- λ - conductivitatea termică [W/m·°K];
- δ - grosimea peretelui [m];
- T_1, T_2 - temperatura pereților [°K].

Conductivitatea termică λ se determină pentru temperatura medie T_m (*tab.6.6*).

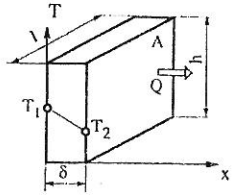


Fig.6.48. Variația temperaturii în peretele plan paralel.

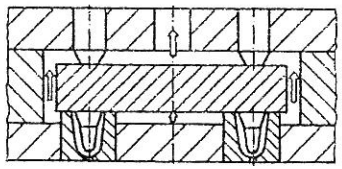


Fig.6.49. Convecția la o matriță cu canale încălzite.

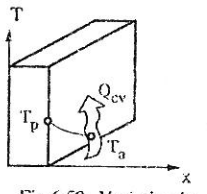


Fig.6.50. Variația de temperatură la transferul termic prin convecție.

Temperatura medie se calculează cu relația

$$T_m = \frac{T_1 + T_2}{2}. \tag{6.35}$$

Pentru ca transferul termic prin conducte să fie redus trebuie să se realizeze următoarele:

- suprafața A să fie cât mai mică. Se reduce constructiv suprafața de contact între distribuitor - antecameră și distribuitor - dopuri de presiune;
- folosirea unor materiale cu conductivitate termică mică. Se realizează o izolare bună a antecamerelor folosind camere izolatoare cu aer.

Pentru un bun transfer termic prin conducție se folosesc materiale cu conductivitate termică mare (duza punctiformă se confecționează din cupru).

Transferul termic prin convecție. Transmiterea căldurii prin convecție reprezintă, în cazul matriței cu canale încălzite, procesul de schimb termic dintre peretele distribuitorului încălzit și aerul cu care este în contact, plăcile matriței și atmosfera exterioară (*fig.6.49*). Se asimilează distribuitorul încălzit cu un perete plan, iar aerul se consideră în mișcare liberă (*fig.6.50*).

Expresia fluxului de căldură prin convecție este prezentată cu expresia

$$Q_{cv} = A\alpha_{cv}(T_p - T_a), \tag{6.36}$$

unde:

- A - suprafața [mm^2];
- α_{cv} - coeficient de convecție [W/m^{2}K];
- T_p - temperatura peretelui distribuitorului [°K];
- T_a - temperatura aerului [°K].

Tab.6.6. **Conductivitatea termică pentru diferite materiale.**

Material	T [°K]	λ [W/m·°K]
Argint 99,9%	0	410,5
Aluminiu	0	209,5
Cupru comercial	20	272,2
Cupru electrolitic	0	395,4
Alamă 90% Cu + 10% Zn	0	102,3
Aliaje de al 92% Al + 8% Cu	0	127,9
Cu Be 2	0	113
Oțel cu Cr: 0,8% Cr, 0,2% C	1000	40
Oțel cu Cr și Ni: 18% Cr, 8% Ni, 0,2% C	100	17
Pejd (Hostalen)	20	0,43
POM (Hostaform)	20	0,31...0,41
PS (Hostyren)	20	0,16
Aer	20	0,025

Coeficientul de convecție pentru aer în mișcare liberă este α_{cv} = 5...10 W/m^{2}K.

Pentru a avea un transfer termic prin convecție cât mai mic, distribuitorul încălzit trebuie să fie complet în interiorul matriței.

Transferul termic prin radiație. Pentru studiul matriței cu canale încălzite se folosește schema simplificată din *fig.6.51*. Transferul de căldură prin radiație se realizează între distribuitorul încălzit și plăcile matriței care-l înconjoară. Transferul termic între doi pereți are loc conform *fig.6.52*.

Expresia fluxului de căldură prin radiație pentru două suprafețe paralele este

$$Q_r = A \cdot e_{1,2} \cdot \varepsilon_T (T_1 - T_2), \tag{6.37}$$

unde:

- A - suprafața [m^2];
- $e_{1,2}$ - coeficient de emisie mutual între placa *1* și placa *2* [W/m^{2}K^4];
- ε_T - factor ce ține cont de temperaturile suprafețelor;
- T_1, T_2 - temperaturile suprafețelor [°K].

Coeficientul mutual $e_{1,2}$ se calculează cu relația

$$e_{1,2} = \frac{1}{\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} - 1}. \tag{6.38}$$

unde:

- e_1 - coeficient de emisie a plăcii *1*;
- e_2 - coeficient de emisie a plăcii *2*.

Valorile coeficientului de emisie se scot din *tab.6.7* iar valorile coeficientului ε_T din *fig.6.53*. Pentru a avea transferuri termice prin radiații cât mai mici, suprafețele blocului se lustruiesc sau se acoperă cu plăci izolatoare.

Transferul termic la duză (*fig.6.54*). Duza punctiformă *2* a matriței, aflată în contact cu distribuitorul înălzit *1*, cedează o parte din cantitatea de căldură acumulată materialului plastic din antecamera *3* a matriței cu canale încălzite.

Tab.6.7. **Coeficienți de emisie după normala la suprafață pentru diferite materiale.**

Material	Starea suprafeței	Temperatura [°C]	Coeficient de emisie [W/m^2°K]
oțel	polizat	940	0,52
	laminat	20	0,57
	oxidat	25	0,82
	refractar	500	0,85
aluminiu	polizat	20	0,04
	laminat	170	0,039
	oxidat	600	0,19

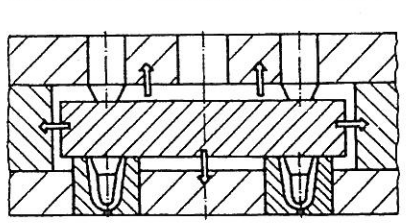


Fig.6.51. Radiația la o matriță cu canale încălzite.

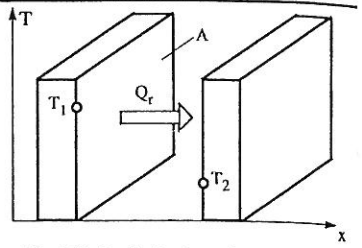


Fig.6.52. Radiația între două suprafețe.

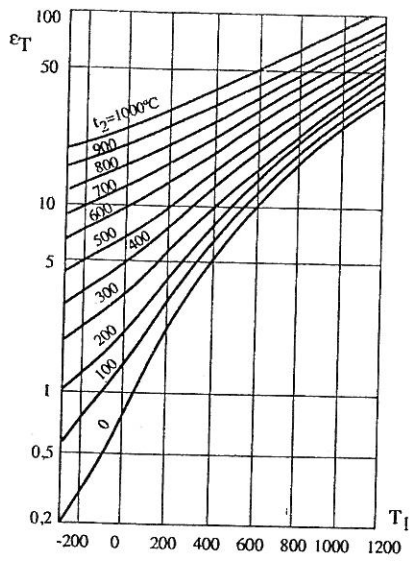


Fig.6.53. Factorul ε_T pentru două suprafețe la T_1 și T_2.

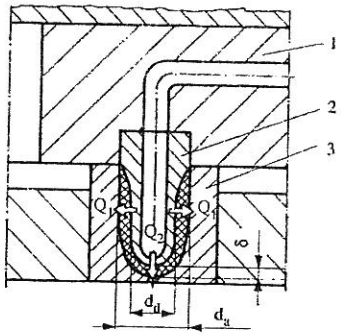


Fig.6.54. Transferul termic la o duză punctiformă: 1 - distribuitor; 2 - duză punctiformă; 3 - antecameră.

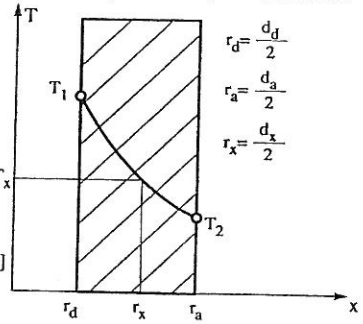


Fig.6.55. Variația temperaturii într-un perete cilindric omogen.

Transferul termic se realizează prin conducție. Se consideră că fluxul termic ce trece prin conducție este în regim permanent printr-un perete cilindric, iar conductivitatea materialului este constantă (*fig.6.55*).

Fluxul termic prin conducție se poate scrie

$$Q_1 = L\frac{T_1 - T_2}{R} \quad [W], \tag{6.39}$$

unde:

- R - rezistența termică conductivă a peretelui [m·K/W];
- L - lungimea cilindrului [m];
- T_1 - temperatura la nivelul peretelui exterior al duzei punctiforme [°K];
- T_2 - temperatura la nivelul interior al antecamerei [°K].

Rezistența termică conductivă a peretelui este dată de expresia

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda} ln\frac{d_a}{d_d} \quad [\frac{m°K}{W}], \tag{6.40}$$

unde:

- λ - conductivitatea termică a materialului plastic [W/m·K];
- d_a - diametrul interior al antecamerei [m];
- d_d - diametrul exterior al duzei punctiforme [m].

Temperatura în interiorul peretelui cilindric, corespunzătoare razei r_x pentru λ = const., este dată de relația

$$T_x = T_1 - q_1\frac{1}{2\pi\lambda} ln\frac{d_x}{d_d} \quad [°K], \tag{6.41}$$

unde:

- q_1 - fluxul unitar longitudinal:

$$q_1 = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{2\pi\lambda} ln\frac{d_a}{d_d}} \quad [W/m]. \tag{6.42}$$

O parte din cantitatea de căldură a duzei punctiforme se cedează prin conducție în zona vârfului duzei, spre cuibul matriței, materialului plastic din această zonă

$$Q_2 = A\frac{\lambda}{\delta}(T_3 - T_4) \quad [W], \tag{6.43}$$

unde:

- A - suprafața cilindrică a duzei punctiforme [m^2];
- λ - conductivitatea termică a materialului plastic [W/m·K];
- δ - grosimea peretelui izolator de material plastic [m];
- T_3 - temperatura capului duzei punctiforme [°K];
- T_4 - temperatura capului interior al antecamerei [°K].

Cantitatea totală de căldură cedată de duza punctiformă va fi

$$Q_d = Q_1 + Q_2. \tag{6.44}$$

Cantitatea totală de căldură. Cantitatea de căldură cedată de distribuitorul încălzit elementelor înconjurătoare se calculează cu relația

$$Q = Q_{cd} + Q_{cv} + Q_r + Q_d \quad [W], \tag{6.45}$$

unde:

- Q_{cd} - cantitatea de căldură cedată de distribuitor prin conducție;
- Q_{cv} - cantitatea de căldură cedată de distribuitor prin convecție;
- Q_r - cantitatea de căldură cedată de distribuitor prin radiație;
- Q_d - cantitatea de căldură cedată de duză prin convecție.

Calculul simplificat al cantității de căldură. În practică se folosesc calcule simplificate cu care se determină transferul termic total al unui bloc distribuitor. În acest caz transferul termic prin conducție, convecție și radiație sunt luate în considerare prin intermediul randamentului termic.

Cantitatea totală de căldură se calculează cu relația

$$Q = mc\Delta T \quad [W], \tag{6.46}$$

unde:

- m - masa blocului distribuitor încălzit [kg];
- c - căldura specifică a oțelului [kJ/kg·K]; pentru oțel c = 0,48 kJ/kg·K];
- ΔT - diferența de temperatură între temperatura de prelucrare și temperatura mediului înconjurător [°K].

Puterea de încălzire a blocului se calculează cu relația

$$N = \frac{Q}{t\eta} \quad [W], \tag{6.47}$$

unde:

- Q - cantitatea de căldură [W];
- t - timpul de încălzire [min];
- η - randamentul total.

Se recomandă pentru timpul de încălzire $t = 20...30$ min.

Randamentul se calculează cu relația

$$\eta = \eta_t \cdot \eta_e , \tag{6.48}$$

unde:

- η_t - randament termic al blocului ($\eta_t = 0,4...0.7$);
- η_e - randament electric al patroanelor de încălzire ($\eta_e = 0,9$).

În funcție de mărimea suprafețelor de contact se ia în considerare un randament termic mai mare sau mai mic.

Există și o altă variantă de calcul aproximativ al puterii de încălzire. Se ia în considerare transferul termic prin conducție, convecție și radiație prin introducerea noțiunii de putere specifică N_s. Se recomandă pentru blocul distribuitor din oțel $N_s = 200...300$ W/kg.

Puterea totală se calculează cu relația

$$N = m \cdot N_s , \tag{6.49}$$

unde:

- m - masa blocului distribuitor [kg];
- N_s - puterea specifică [W/kg].

Masa blocului se calculează cu relația

$$m = L \cdot l \cdot h \cdot \gamma \quad [kg] , \tag{6.50}$$

unde:

- L - lungimea blocului [m];
- l - lățimea blocului [m];
- h - înălțimea blocului [m];
- γ - greutatea specifică [kg/m^3].

6.3.9.2. Dilatația termică a matriței

La matrițele cu canale încălzite materialul plastic trebuie să rămână în distribuitor cât mai puțin timp pentru a nu se produce degradarea lui. Elementele de construcție ale distribuitorului și duzelor trebuie să fie foarte bine aliniate pentru a nu apărea decalaje între ele, determinând astfel zone de staționare. Analizând construcțiile de matrițe de injectat cu canale încălzite și duze de injectare cu ventil, situația poate fi transpusă și în cazul matrițelor cu duze deschise.

Datorită temperaturii ridicate la care se lucrează apar între distribuitor și duze modificări dimensionale datorate dilatațiilor termice (*fig.6.56*). La calculul dilatației termice ce apare la matrița cu canale încălzite se ia în considerare variația dimensională a distribuitorului, variația dimensională a plăcilor de contact și a ventilelor.

Se consideră în acest caz variația liberă a lungimilor sub influența temperaturii. O bară de lungime l_0 sub influența temperaturii va avea lungimea finală conform ecuației

$$l = l_0 [1 + \alpha (T_f - T_i)] \quad [mm] , \tag{6.51}$$

unde:

- l_0 - lungimea inițială la temperatura ambiantă [mm];
- α - coeficientul de dilatație liniară [1/°K];
- T_f - temperatura finală [°K];
- T_i - temperatura inițială sau temperatura mediului ambiant [°K].

Dilatația barei se exprimă prin relația

$$\Delta l = l - l_0 = \alpha l_0 (T_f - T_i) = \alpha l_0 \Delta T \quad [mm] . \tag{6.52}$$

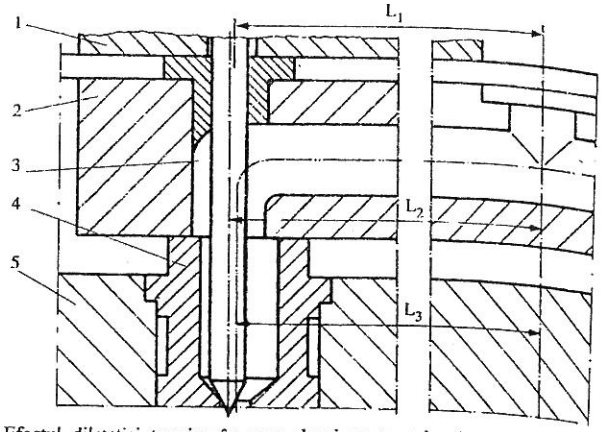


Fig.6.56. Efectul dilatației termice în zona duzei cu torpedou la o matriță cu canale încălzite: 1 - placă de prindere; 2 - distribuitor; 3 - torpedou; 4 - antecameră; 5 - placă de formare.

Tab.6.8. **Coeficienți de dilatare termică liniară pentru diferite materiale.**

Material	α [1/°K]
oțel, oțel turnat, fontă	(11...12)·10^{-6}
cupru	17·10^{-6}
bronz	18·10^{-6}
alamă	19·10^{-6}
aluminiu	24·10^{-6}

Valorile coeficientului de dilatație liniare sunt cuprinse în *tab.6.8.*

Analizând elementele constructive supuse unei variații termice a lungimii într-un sistem cu canal cald, lucrând cu ajutaj cu ventil, se pot constata următoarele:

- placa de prindere *1* adoptă sub influența răcirii temperatura T_1. Placa este răcită pentru evitarea supraîncălzirii;
- distribuitorul *2* ajunge la temperatura de prelucrare T_2 a materialului termoplastic injectat;
- placa de formare *5* atinge temperatura T_3 ce corespunde temperaturii prescrise pentru cuibul piesei.

Pentru ca axele elementelor sistemului să fie aliniate în condiții de exploatare este necesar ca distanțele față de axa cilindrului hidraulic să fie identice pentru diferite temperaturi:

$$L_{1(T_1)} \equiv L_{2(T_2)} \equiv L_{3(T_3)} . \tag{6.53}$$

Variația poziției ventilului. Datorită dilatației termice a duzei cu închidere precum și a celorlalte elemente constructive apar abateri dimensionale ale poziții pe două direcții (*fig.6.57*). Se consideră distribuitorul și placa confecționate din oțel. Pe direcția y abaterea poziției ventilului *2* este diferența între dilatația termică a ventilului și dilatația termică a plăcii de formare

$$\Delta l_v = \alpha_v l_{ov} (T_d - T_0) ; \tag{6.54}$$

$$\Delta l_p = \alpha_{ol} l_{op} (T_f - T_0) . \tag{6.55}$$

Din relațiile (6.54) și (6.55) considerând $l_{ov} = l_{op} = l_{oy}$ rezultă

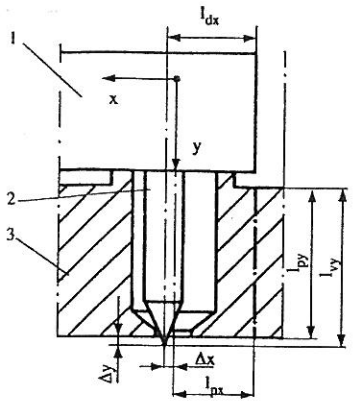


Fig.6.57. Abateri ale poziției ventilului la o matriță cu canale încălzite:
1 - distribuitor; 2 - ventil; 3 - placă de formare.

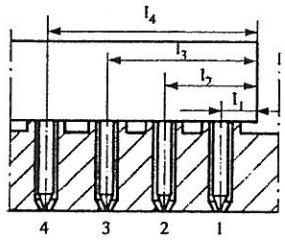


Fig.6.58. Abateri de poziție pentru o matriță cu canale încălzite cu mai multe duze.

unde:

$$\Delta l_y = \Delta l_v - \Delta l_p = l_{oy}[\alpha_y(T_d - T_0) - \alpha_{ol}(T_p - T_0)], \quad (6.56)$$

- α_v - coeficientul de dilatare termică a ventilului;
- α_{ol} - coeficientul de dilatare termică a oțelului;
- l_{ov} - lungimea la temperatura mediului ambiant a ventilului;
- l_{op} - lungimea la temperatura mediului ambiant a plăcii de formare;
- T_d - temperatura distribuitorului;
- T_p - temperatura plăcii de formare;
- T_0 - temperatura mediului înconjurător.

Pe direcția x abaterea de poziție a ventilului *2* este diferența dintre dilatația distribuitorului pe direcția x și dilatația plăcii de formare pe direcția x

$$\Delta l_d = \alpha_{ol} l_{od}(T_d - T_0); \quad (6.57)$$

$$\Delta l_p = \alpha_{ol} l_{op}(T_p - T_0); \quad (6.58)$$

Din relațiile (6.57) și (6.58), considerând $l_{od} = l_{op} = l_{ox}$

$$\Delta l_x = \Delta l_d - \Delta l_p = \alpha_{ol} l_{ox}(T_d - T_p). \quad (6.59)$$

În *fig.6.58* este prezentată schematic varianta constructivă cu mai multe duze cu ventil. În acest caz abaterea pe direcția x se calculează pentru fiecare ventil în parte lând în considerare distanțele față de planul de referință: Δl_{1x} pentru lungimea l_1, Δl_{2x} pentru lungimea l_2, etc.

Efortul unitar datorită temperaturii. Efortul unitar produs într-o bară omogenă prismatică supusă unei variații de temperatură $\Delta T = T_1 - T_0$, în cazul în care alungirea este împiedicată, se calculează cu relația

unde:

$$\sigma_T = E\alpha(T_1 - T_0) \quad [N/mm^2], \quad (6.60)$$

- E - modulul de elasticitate al materialului [N/mm^2];
- α - coeficientul de dilatare termică [1/°K];
- T_1 - temperatura finală [°K];
- T_0 - temperatura inițială [°K].

Influența forțelor de frictiune. Ecuațiile folosite pentru dilatare termică la o matriță cu canale încălzite nu ține seama de împiedicarea deformării. Pentru a se evita scurgerile de material între blocul distribuitor și ajutaje se folosesc strângeri cu șuruburi

care dau naștere la forțe de frecare care se opun forțelor de dilatare termică. Influența în calcul a acestor forțe este însă neglijabil de mică și dă valori mici care se înscriu în toleranțele uzuale pentru prelucrarea mecanică a elementelor funcționale ale sistemului cu canale încălzite.

6.3.9.3. Elemente constructive

6.3.9.3.1. Duza

Duza este elementul constructiv care face legătura între distribuitorul încălzit și cuibul matriței, având rolul de a menține materialul plastic în stare topită până la trecerea prin dig. De asemenea, duza nu trebuie să transmită de la distribuitorul încălzit la cuib o cantitate de căldură mare, ceea ce ar duce la mărirea temperaturii cuibului în această zonă.

Duzele se clasifică în două mari categorii: duze deschise și duze închise [28].

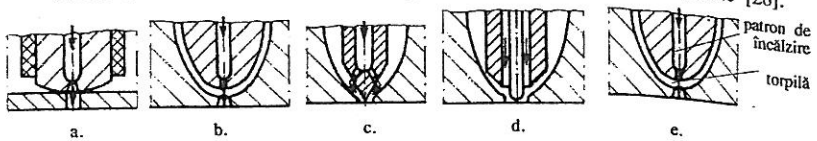
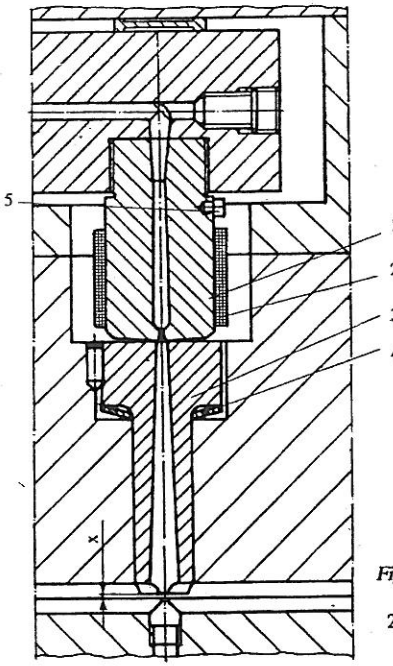


Fig.6.59. Tipuri de duze deschise: a - cu corp de încălzire;
b - cu încălzire indirectă și antecameră; c - cu vârf; d - cu ac; e - cu torpilă încălzită.



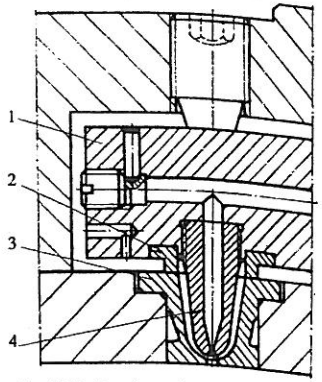


Fig.6.61. Duză cu încălzire indirectă și antecameră:
1 - distribuitor; 2 - inel intermediar;
3 - antecameră; 4 - duză.

Fig.6.60. Duză deschisă cu încălzire pe corpul duzei și injectare indirectă: 1 - duză;
2 - corp de încălzire; 3 - duză suplimentară;
4 - arc disc; 5 - teacă pentru termocuplă.

Duze deschise. Duzele deschise au caracteristica comună de a fi tot timpul în legătură directă cu cuibul prin orificiul duzei ce rămâne în permanență deschis (*fig.6.59*).

O variantă constructivă de duză deschisă cu încălzire pe corpul duzei și injectare indirectă este prezentată în *fig.6.60*. Acest sistem permite un bun control al temperaturii duzei, însă necesită un spațiu mai mare pe înălțime. La dimensionarea sistemului se ia în considerare dilatația termică între placa de formare și duză prin jocul x pentru compensarea dilatării. Arcul taler *4* ține în contact permanent duza deschisă cu duza suplimentară *3*.

Un alt sistem constructiv de duze este cel cu duză de încălzire indirectă și antecameră (*fig.6.61*). Materialul plastic în stare de topitură din distribuitorul *1* cu temperatură controlată, ajunge în duza punctiformă *4*, antecamera *3* și apoi în cuibul matriței. O parte din materialul plastic ajunge în spațiul dintre antecamera *3* și duza punctiformă *4*, material ce joacă un rol de izolator termic pentru duză. Duza *4* este încălzită prin conducție, indirect, de la distribuitorul *1*, căldura primită fiind folosită pentru menținerea materialului plastic în stare topită la trecerea prin duză. Funcționarea sistemului depinde de mai mulți factori:

- transferul termic de la distribuitor la duză;
- pierderile de căldură prin stratul izolator de material plastic și antecameră;
- diferențele de temperatură pe lungimea duzei de injectare, etc.

Acești factori de influență determină recomandările constructive cuprinse în *fig.6.62*, *tab.6.9* și *tab.6.10*.

Tab.6.9. **Dimensiuni constructive pentru duza cu încălzire directă.**

Denumire	d	d_1	D_1	L	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6
Valoare [mm]	din *tab.6.10*	0,7...1,2	4...7	max 2D	2...3	5...6	3	3...4	0,5...1	0,8...1,2

Tab.6.10. **Diametrul digului în funcție de cantitatea de material injectat pentru duza cu încălzire indirectă.**

Cantitatea de material injectat [g]	0...10	10...20	20...40	40...150	150...300	300..500
d [mm]	0,4 ..0,8	0,8...1,2	1...1,8	1,2...2,5	1,5 ..2,6	1,8...2,8

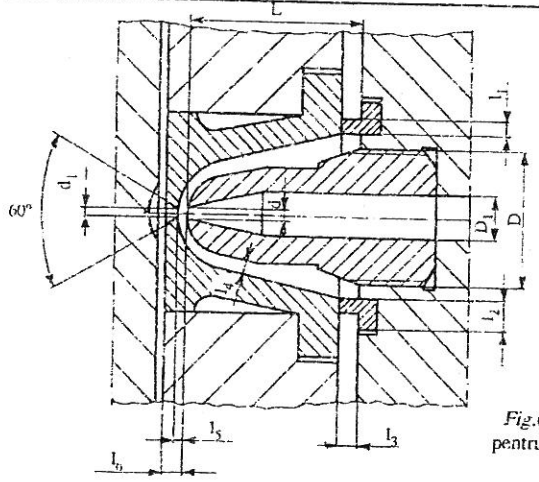


Fig.6.62. Recomandări constructive pentru o duză cu încălzire directă și antecameră.

O variantă constructivă a duzelor deschise este duza cu vârf care are digul inelar (*fig.6.63*). Aceste duze au avantajul că transferul de căldură de la distribuitorul încălzit ajunge prin intermediul torpilei până în zona digului. Aceste duze sunt recomandate pentru piesele de mici dimensiuni și pentru materialele termoplastice semicristaline.

O variantă constructivă folosită cu eficacitate este soluția constructivă prezentată în *fig.6.64*. Pentru această soluție constructivă se fac următoarele recomandări dimensionale: $s \geq 3$; $D = 2s + d_1 + 2d_2$; $L_2 = (1,5...2)\,d_1$; $d_1 = 2d$; $d_2 = 2...4$ *mm*; $\delta = d_1/2$. La acest sistem se recomandă ca torpedoul să conducă foarte bine căldura și de aceea acestea se execută din aliaje cu cupru (CuBe sau CuCoBe). Torpedoul unui astfel de sistem poate fi prevăzut în unele cazuri cu două sau trei diguri (*fig.6.65*).

O duză deschisă cu încălzire indirectă și dig inelar, recomandată pentru termoplastele armate cu fibră de sticlă (PA) cât și pentru termoplastele tip PA și PC, este prezentată în *fig.6.66*. Se remarcă la această construcție vârful duzei care este o piesă călită cu duritate mare și cele două orificii de curgere a materialului plastic spre vârful duzei.

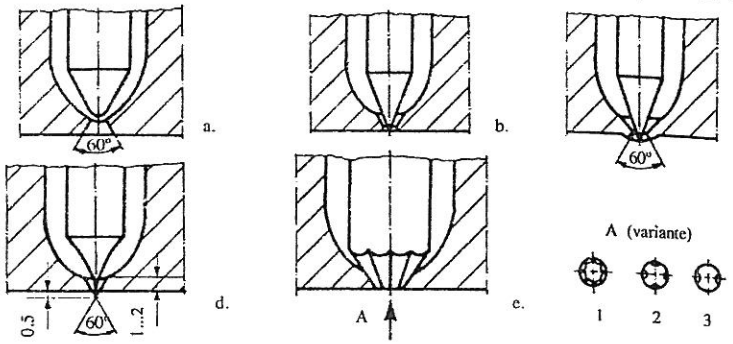
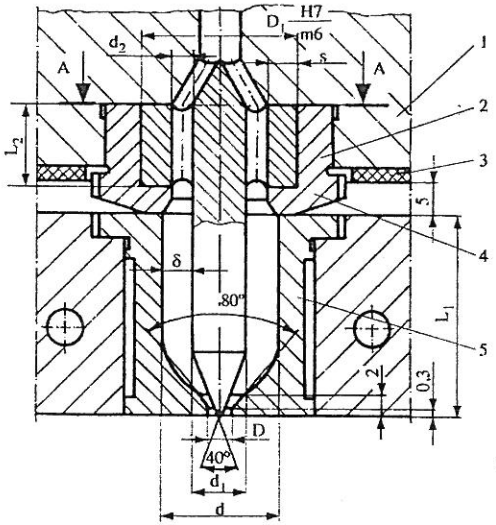


Fig.6.63. Forme constructive de dig la duzele deschise cu vârf.



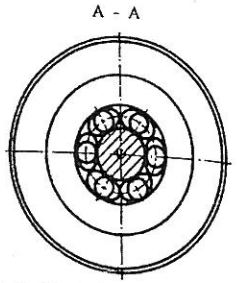


Fig.6.64. Duză deschisă cu torpilă:
1 - distribuitor; 2 - torpilă;
3 - placă izolatoare;
4 - bucșă de sprijin; 5 - antecameră.

Un exemplu constructiv de duză deschisă cu torpilă încălzită este prezentat în *fig.6.67*. Această construcție permite mărirea distanței între distribuitor și cuibul matriței, iar prin încălzirea torpilei temperatura duzei poate fi reglată. Soluția constructivă este recomandată pentru materialele termoplastice cu punct de topire ridicat (PA și PC) și tendință de solidificare rapidă. Se recomandă h = 2,5...3 mm.

Duze cu închidere. Duzele cu închidere sunt dotate cu un element constructiv care, prin micșorarea sa, închide sau deschide orificiul sistemului de injectare pe parcursul unui ciclu de injectare. Duzele cu închidere pot fi construite în două variante (*fig.6.68*). Duzele cu închidere prezintă, față de duzele deschise, câteva caracteristici:

- prin mișcarea elementului de închidere se eliberează orificiul, permițând o umplere ușoară a cuibului în timpul injectării, iar prin închiderea orificiului se împiedică solidificarea materialului;
- datorită formei constructive a elementului de închidere, pierderile de presiune sunt mici în timpul injectării;
- se realizează o curățire a orificiului digului;
- construcție mai complicată și posibilități de defectare mai dese;
- costul ridicat al construcției.

Un exemplu constructiv de duză cu închidere este prezentată în *fig.6.69*. Pentru această construcție se recomandă dimensiunile: $s_1 = s + 0{,}5$ [mm]; $L = (2{,}5...3)d$. Acul *3* al duzei acționează ca o supapă aflată în poziție normală închisă (orificiul digului obturat). O dată cu apariția presiunii de injectare ia naștere o forță care determină mișcarea de deschidere a acului prin comprimarea arcului elicoidal *2* până la tamponarea elementului *1*. Cursa de deschidere S_1 a acului este pusă în legătură cu cursa S necesară

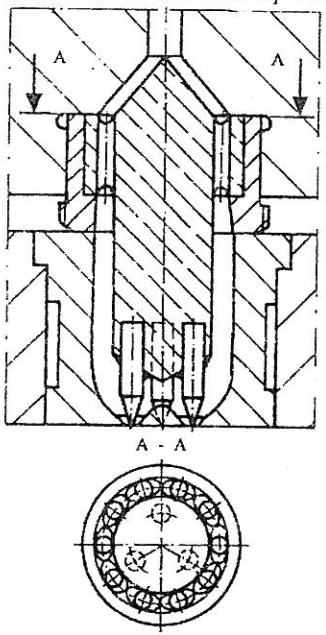


Fig.6.65. Duză deschisă cu torpilă cu încălzire indirectă (3 diguri).

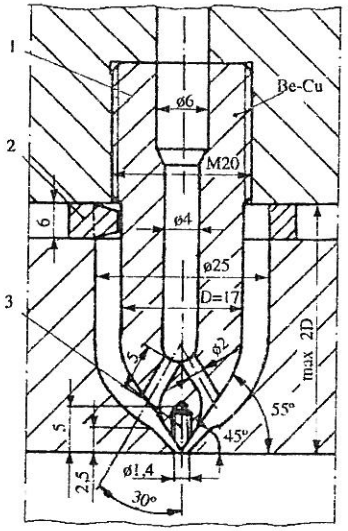
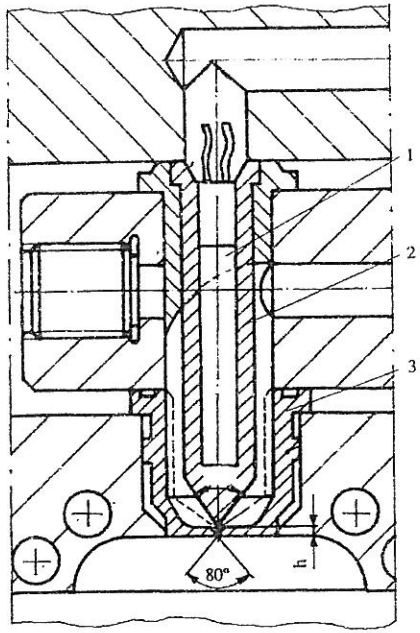


Fig.6.66. Duză deschisă cu dig inelar:
1 - duză; 2 - inel de sprijin; 3 - vârf.



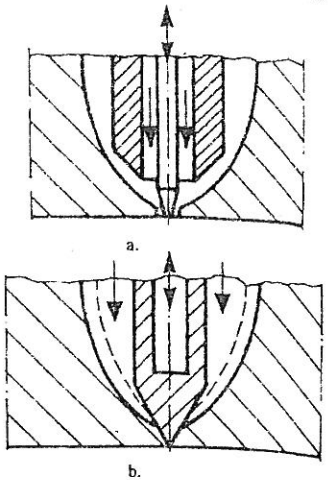


Fig.6.68. Tipuri de duze cu închidere:
a - cu ac de închidere; b - cu ac de închidere încălzit

Fig.6.67. Duză deschisă cu torpilă încălzită:
1 - patron de încălzire; 2 - torpilă;
3 - antecameră.

deschiderii digului. Arcul elicoidal trebuie să aibă capetele prelucrate, să fie ghidat pe o lungime cât mai mare și să aibă o forță de 800...1000N. Duza este confecționată din aliaj Be-Cu sau Be-Co-Cu.

O altă soluție constructivă de duză cu închidere este prezentată în *fig.6.70*. Această construcție este recomandată pentru produse injectate de dimensiuni mari (navete pentru

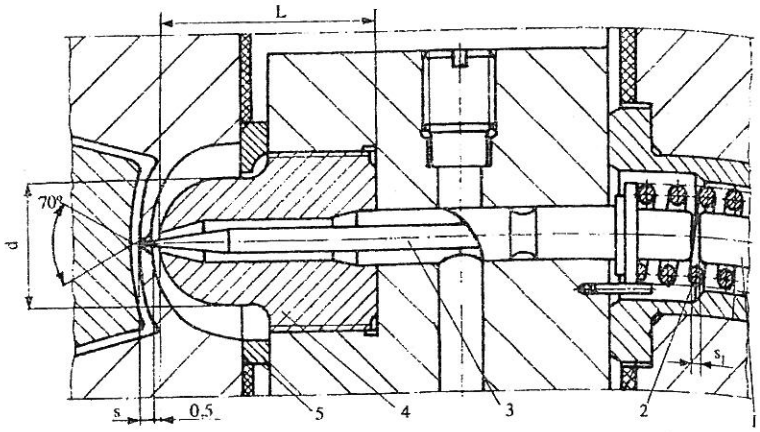


Fig.6.69. Duză cu închidere cu ac:
1 - tampon; 2 - arc; 3 - ac; 4 - duză; 5 - inel de sprijin.

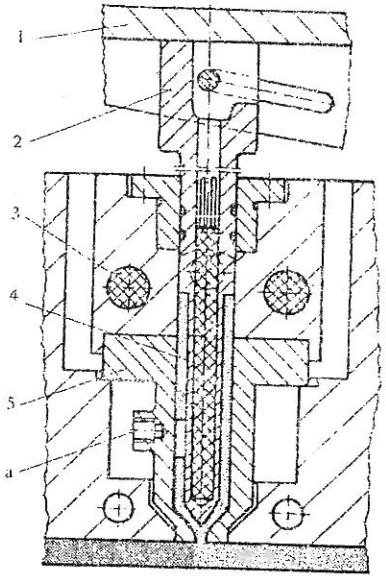


Fig.6.70. Duză cu închidere cu ac cu încălzire interioară: 1 - ghidaj; 2 - tijă cu ac; 3 - patron de încălzire; 4 - patron interior; 5 - antecameră; a - loc pentru termocuplu.

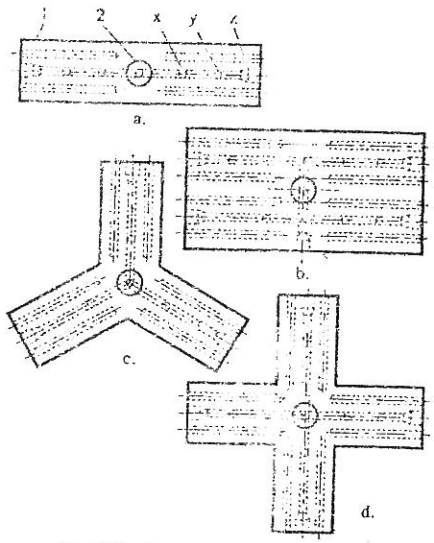


Fig.6.71. Forme constructive de blocuri distribuitoare: a, b - forme paralelipipedice; c - stea; d - cruce; 1 - bloc distribuitor; 2 - duză centrală; x - loc pentru termocuplu; y - duză punctiformă; z - loc pentru patronul de încălzire.

sticle). Prin folosirea patronului interior *4*, suplimentar față de patroanele exterioare *3*, și datorită posibilității de măsurare cu un termocuplu în peretele antecamerei, există posibilitatea unei reglări mai bune a temperaturii materialului plastic ce se injectează. Mișcarea tijei cu ac *2* se realizează cu ajutorul ghidajului *1* acționat de un cilindru hidraulic.

6.3.9.3.2. Distribuitorul

Blocurile distribuitoare sunt ansamblurile constructive care servesc la conducerea materialului plastic de la duza centrală la duzele punctiforme. Pe lângă aceasta, blocurile distribuitoare mai îndeplinesc următoarele cerințe:

- menținerea materialului plastic topit la aceeași temperatură pe întreg parcursul;
- pierderi de presiune ale materialului plastic cât mai reduse.

Elemente constructive. Există mai multe variante de forme constructive a blocurilor distribuitoare (*fig.6.71*). În blocurile distribuitoare se găsesc canalele care conduc materialul plastic, găurile pentru duza centrală și duzele punctiforme, locașurile pentru elementele de încălzire, locașurile pentru termocuple, etc.

Blocul distribuitor se fixează între plăcile matriței conform *fig.6.72.* Forța de strângere a blocului *4*, necesară asigurării etanșării în zona de contact cu antecamera *5*, se realizează cu ajutorul șuruburilor *2* care se dimensionează astfel încât să reziste la presiuni de injectare de până la 1000 bari. Pentru concentrarea forțelor necesare etanșării, în zona duzei se folosesc dopuri de presiune *1*, care apasă pe discurile de presiune *3*. Este necesar ca forța de apăsare *F*, în zona duzei, să fie mai mare decât forța *P* dezvoltată la injectare.

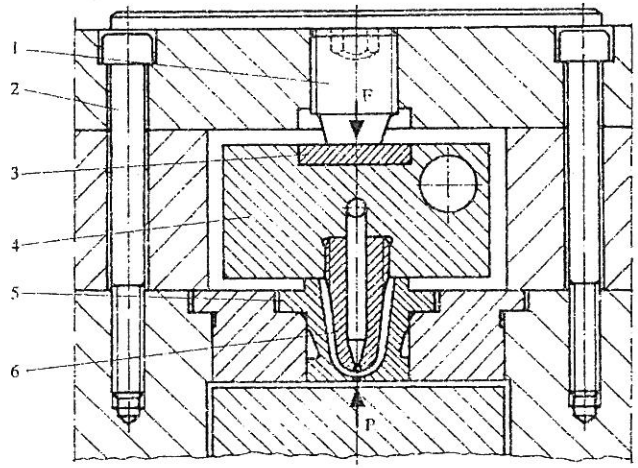


Fig.6.72. Bloc distribuitor în matriță cu canale încălzite: 1 - dop de presiune; 2 - șurub de fixare; 3 - disc de presiune; 4 - bloc distribuitor; 5 - antecameră; 6 - duză.

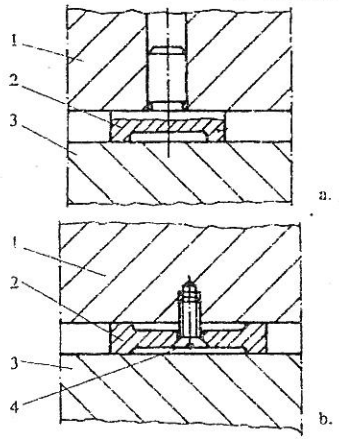


Fig.6.73. Forme constructive de elemente de încălzire: a - în formă de tampon; b - în formă de disc; 1 - placă de prindere; 2 - element de presiune; 3 - bloc distribuitor; 4 - șurub.

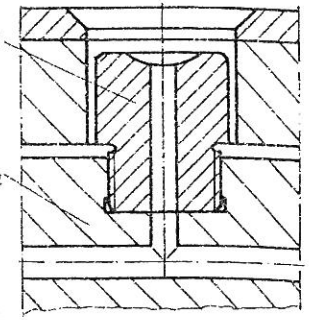


Fig.6.74. Bucșă centrală în loc de distribuitor: 1 - duza centrală; 2 - bloc distribuitor.

Dopurile de presiune trebuie să aibă suprafața de sprijin mică, astfel ca pierderile de căldură să fie minime. Pot să existe și alte forme de dopuri de presiune (*fig.6.73*).

Deoarece sistemul cu canale încălzite nu are rețea de injectare, duza centrală are gaura interioară cilindrică. Ea se montează în bloc prin înșurubare. Se confecționează din oțel aliat cu nichel și crom cu duritatea 56 HRC (*fig.6.74*).

Blocul distribuitor se confecționează din oțel aliat cu Cr, Mo, Mn fără tratament termic.

Canale. În blocul de distribuție sunt practicate canale de curgere pentru care este important să fie stabilite diametrul, lungimea și poziționarea lor (*tab.6.11*).

În blocul distribuitor canalele fac schimbări de direcție care trebuie să se facă cu raze de curbură pentru a nu se produce curgeri turbulente. De asemenea, este necesar să fie posibil controlul canalelor în vederea curățirii, acest lucru făcându-se prin intermediul unor dopuri. Există mai multe soluții constructive (*fig.6.75*).

Dopurile și știfturile pentru realizarea schimbării de direcție se execută din oțeluri aliate.

Încălzirea. Încălzirea blocurilor distribuitoare se realizează cu ajutorul patroanelor de încălzire sau a corpurilor de încălzire în tub. În legătură cu patroanele de încălzire se pun următoarele probleme:

- aranjarea în blocul distribuitor încălzit;
- montajul în gaura corespunzătoare din bloc;
- densitatea de putere pe fircare patron trebuie să fie mai mare de 20W/cm^2;
- patronul se montează în gaură cu joc mic (alezaj H7) pentru un bun transfer termic.

Modalități constructive de fixare a patroanelor de încălzire în blocul distribuitor încălzit sunt prezentate în *fig.6.76*. În general patroanele de încălzire se montează în paralel cu canalele de curgere. Prin această așezare se realizează o distribuție uniformă a fluxului de căldură către canale. Nu se plasează gaura patronului de încălzire la o distanță prea mică față de canalele de curgere a materialului plastic (*L*).

Temperatura blocului se sesizează cu ajutorul unor termocuple (*fig.6.77*). La fixarea termocuplelor se respectă următoarele principii:

Tab.6.11. Dimensionarea canalelor din blocul de distribuție la matrițele cu canale încălzite.

Diametru canal [mm]	Cantitatea de material pe cuib [g]	Lungimea canalului [mm]
5	max. 25	
6	25...50	
8	50...100	
6...8		max. 200
8...10		200...400
10...14		min. 400

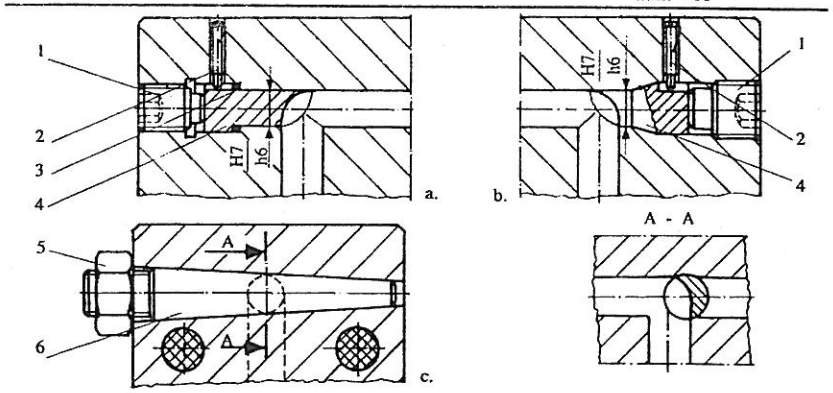


Fig.6.75. Soluții constructive pentru canalele din blocul distribuitor:
a - dop cilindric; b - dop conic; c - știft conic; 1 - dop de presiune; 2 - știft filetat cu cap; 3 - șaibă de Cu; 4 - dop cilindric; 5 - piuliță; 6 - știft conic.

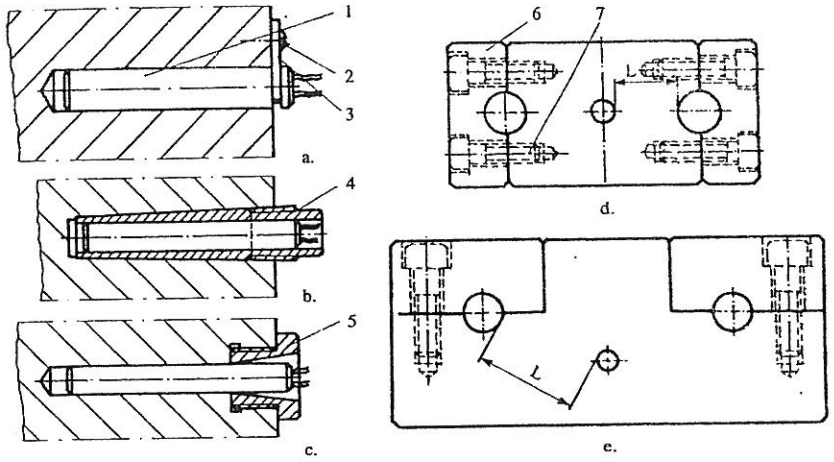


Fig.6.76. Soluții constructive de montare a patroanelor de încălzire:
a - direct în gaură; b - în teacă; c - parțial în gaură; d, e - fixare cu bride;
1 - patron de încălzire; 2 - șurub; 3 - șaibă de fixare; 4 - teacă; 5 - bucșă; 6 - bridă; 7 - șurub.

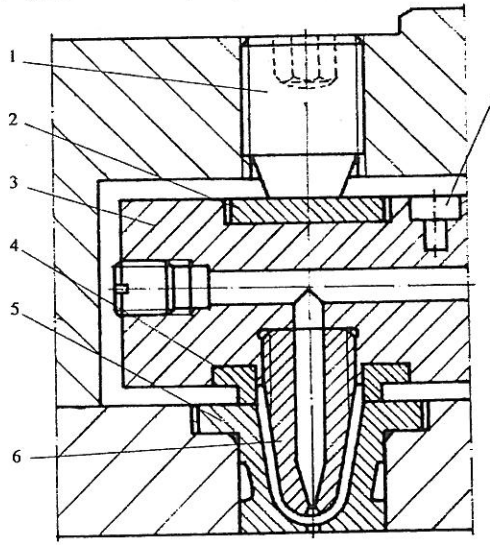


Fig.6.77. Poziția termocuplului la o matriță cu canale încălzite:
1 - dop de presiune;
2 - placă de presiune;
3 - bloc distribuitor;
4 - bucșă de presiune;
5 - antecameră; 6 - duză;
a - locaș pentru termocuplu.

- se așează la 10...15 mm de suprafețele de încălzire;
- este necesar un contact cât mai bun cu suprafața de măsurare.

O altă modalitate de încălzire se realizează cu rezistențe în tub (*fig.6.78*). Rezistențele tubulare se montează în găuri frezate în blocul distribuitor după traseul dorit.

Pentru a fixa tuburile în locașurile frezate și pentru a realiza un bun transfer termic se folosește în gaură un ciment special (*fig.6.79*).

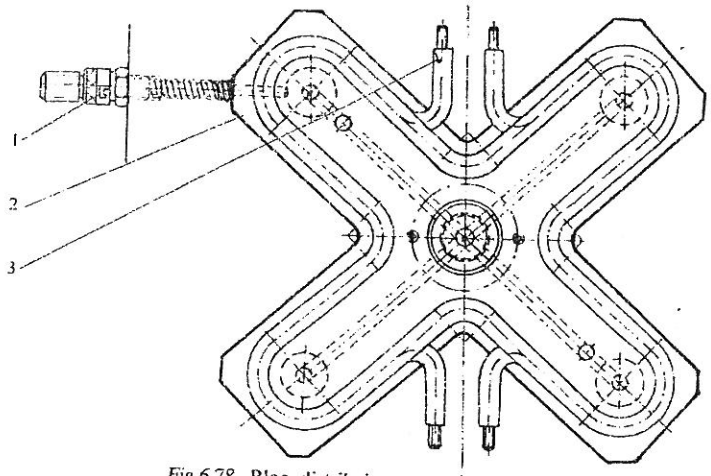


Fig.6.78. Bloc distribuitor cu rezistență în tub:
1 - termocuplu; 2 - bloc distribuitor; 3 - rezistență tubulară.

6.4. Sistemul de aruncare al matriței

După răcire, respectiv solidificarea piesei injectate, aceasta trebuie eliminată din matriță o dată cu deschiderea acesteia. Faza de scoatere, respectiv de aruncare a piesei din matriță, face parte din ciclul de injectare. În general, piesa injectată rămâne în partea mobilă a matriței de unde este aruncată de un *sistem de aruncare* (*fig.6.80*).

6.4.1. Forța de aruncare

Deschiderea matriței de injectat trebuie să se facă cu o forță de deschidere cât mai mică, astfel încât să se respecte relația

$$F_1 < F_2 , \tag{6.61}$$

unde:
- F_1 - forța necesară deschiderii matriței;
- F_2 - forța de deschidere a mașinii.

Schema de principiu a aruncării unei piese din matriță este prezentată în *fig.6.80*.

La eliminarea piesei injectate din matriță, trebuie să se respecte relația

$$F_A < F_2 , \tag{6.62}$$

unde:
- F_A - forța de aruncare din matriță;
- F_2 - forța de deschidere a mașinii.

Forța de aruncare din matriță este dependentă de o mulțime de parametri. Cunoscând acești parametri se poate acționa eficient pentru reducerea forței de aruncare din matriță.

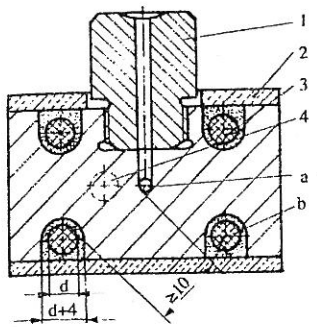


Fig.6.79. Bloc distribuitor cu încălzire cu rezistență în tub:
1 - duză centrală; 2 - placă de izolare; 3 - rezistență în tub; 4 - termocuplu; a - canal; b - ciment special.

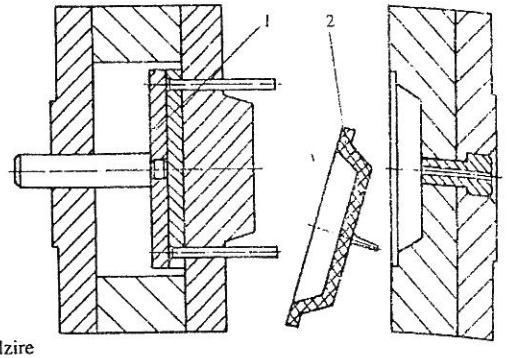


Fig.6.80. Schema de principiu pentru sistemul de aruncare:
1 - sistem de aruncare; 2 - piesă injectată.

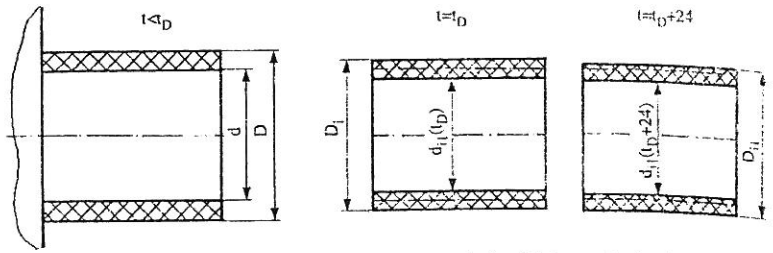


Fig.6.81. Contracția unei piese în formă de tub la diferite perioade de timp:
t_D - temperatura de demulare; t_D+24 - temperatura măsurată la 24 de ore după demulare.

Forța de aruncare F_A depinde de următorii factori:

- matrița de injectat: rigiditatea, răcirea materialului din care e confecționată matrița (caracteristicile termice, coeficientul de frecare al suprafeței, starea suprafeței);
- materialul termoplastic: coeficientul de frecare, modulul de elasticitate, caracteristicile termice, proprietățile termodinamice (contracția);
- piesa injectată: grosimea pereților, ariile de proiecție ale suprafețelor, porțiunile umbrite;
- parametrii de proces: presiunea remanentă, temperatura de prelucrare, temperatura matriței, timpul de demulare, rata de aruncare.

Se poate scrie pentru forța de aruncare

$$F_A = F_D + \sum F_R , \tag{6.63}$$

unde:
- F_D - forța de demulare;
- F_R - forțele de frictiune în sistemul matriței.

O piesă injectată în matriță, datorită presiunii reziduale rămase în cuib după injectare suferă o contracție (*fig.6.81*). În urma contracției imediat după scoaterea de pe poansoane ($t = t_D$), diametrul interior și exterior al piesei injectate se micșorează: $d_i > d_{il}$; $D_i > D_{il}$.

Forța de demulare se calculează cu relația

$$F_D = \mu p A , \tag{6.64}$$

unde:

- μ - coeficientul de frecare între miez și piesa injectată;
- p - presiunea de contact între piesă și miez;
- A - suprafața de contact între piesă și miez.

În lucrarea [21] se explicitează forța de demulare pentru diferite forme geometrice de piese injectate (*fig.6.82*).

Cilindru deschis (*fig.6.82.a*). Forța de demulare se calculează cu relația

$$F_D \approx 2\mu E(\frac{S_l(\%)}{100} - k\Delta S_v)a\pi l, \qquad (6.65)$$

unde:

- S_l - contracția liniară, se calculează la $t = 24h$;
- k - coeficient de material;
- μ - coeficient de frecare între material și miez;
- E - modulul de elasticitate al materialului la temperatura de demulare;
- a - grosimea de perete;
- l - lungimea piesei;
- ΔS_v - variația de volum specific.

Variația de volum specific se calculează cu relația

$$\Delta S_v = \frac{V_{(T_D)} - V_{(T_C)}}{V_{(T_D)}}, \qquad (6.66)$$

unde:

- T_D - temperatura de demulare.
- T_C - temperatura camerei (a mediului înconjurător).

Variația de volum specific se determină din diagrama *p-V-T* (cap.5.4). Dacă nu se cunoaște termenul $k\Delta S_v$ acesta se elimină, obținându-se astfel o valoare maximă a forței de demulare. Contracția liniară se calculează cunoscând contracția volumică (cap.5.4).

Cilindru închis (*fig.6.82.b*):

- *cu miez aerisit.* Forța de demulare se calculează cu relația

$$F_D \approx \mu E(\frac{S_l(\%)}{100} - k\Delta S_v)(2\pi al + \frac{\pi bd}{1-\mu}); \qquad (6.67)$$

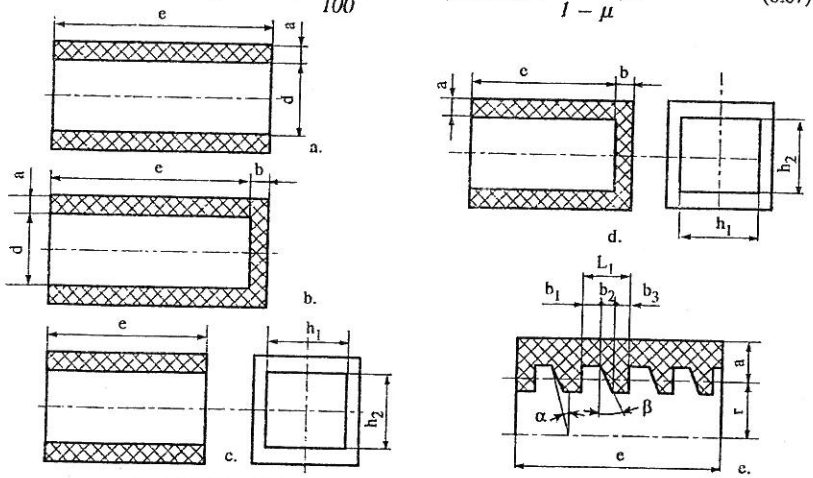


Fig.6.82. Cazuri de bază pentru calculul forței de demulare.

- *cu miez fără aerisire.* Forța de demulare se calculează cu relația

$$F_D \approx \mu E(\frac{S_l(\%)}{100} - k\Delta S_v)(2\pi al + \frac{\pi bd}{1-\mu}) + \frac{\pi d^2}{4}p, \qquad (6.68)$$

unde:

- p - presiunea negativă ($p_{max} \approx 100$kPa).

Formă paralelipipedică deschisă (*fig.6.82.c*). Forța de demulare se calculează cu relația

$$F_D \approx 8\mu E(\frac{S_l(\%)}{100} - k\Delta S_v)al. \qquad (6.69)$$

Formă paralelipipedică închisă (*fig.6.82.d*):

- *cu miez aerisit.* Forța de demulare se calculează cu relația

$$F_D \approx \mu E(\frac{S_l(\%)}{100} - k\Delta S_v)[8al - \frac{2b(h_1 + h_2)}{1-\mu}]; \qquad (6.70)$$

- *cu miez fără aerisire.* Forța de demulare se calculează cu relația

$$F_D \approx 8\mu E(\frac{S_l(\%)}{100} - k\Delta S_v)[8al - \frac{2b(h_1 + h_2)}{1-\mu}] + h_1h_2p, \qquad (6.71)$$

unde:

- p - presiunea negativă ($p_{max} = 100$kPa)

Filet în formă de fierăstrău (în cazul în care dinții filetului piesei rămân în contact pe toată suprafața cu miezul *fig.6.82.e*). Momentul de demulare se calculează cu relația

$$M_D \approx \frac{2\pi lrp(b_1 + b_2 + b_3\frac{1+\cos\beta_1}{\sin\beta_1})}{l_1(\frac{\cos\alpha}{\mu} - \frac{\sin\alpha}{\cos\beta})}. \qquad (6.72)$$

6.4.2. Tipuri de sisteme de aruncare

Modul de rezolvare constructivă, precum și durata în timp a aruncării au o importantă influență asupra calității și economicității piesei injectate. Soluția optimă pentru aruncarea piesei injectate presupune scoaterea automată a acesteia, din matrița de injectat deschisă, cu ajutorul unui sistem de aruncare adecvat. Pe măsura dezvoltării și perfecționării tehnologiei de injectare, a modernizării construcției matrițelor s-au inventat o multitudine de sisteme de aruncare. Sistemele de aruncare utilizate pentru scoaterea pieselor injectate din matriță pot fi clasificate în trei mari grupe:

- aruncare mecanică;
- aruncare pneumatică;
- aruncare hidraulică.

6.4.2.1. Aruncarea mecanică

Acest sistem este cel mai utilizat sistem de aruncare a pieselor din matrița de injectat. Mecanismul de aruncare este acționat de către mașina de injectat în timpul deschiderii matriței.

Aruncarea mecanică se rezolvă cel mai simplu atunci când piesa injectată rămâne în partea mobilă a matriţei. Rămânerea piesei în partea mobilă a matriţei se poate determina prin:

- contractarea piesei injectate pe poanson;
- existenţa unor porţiuni „umbrite";
- cu ajutorul bacurilor, etc.

Există mai multe metode de aruncare mecanică a pieselor injectate din matriţă, cele mai întrebuinţate fiind: aruncarea cu ştifturi de aruncare, aruncarea tubulară şi aruncarea cu placă dezbrăcătoare. De asemenea, mai există o serie de sisteme complexe de aruncare care necesită însă construcţii speciale. Alegerea uneia sau alteia dintre metodele de aruncare este determinată de forma constructivă şi cerinţele estetice ale piesei injectate.

6.4.2.1.1. Aruncarea cu ştifturi

Este sistemul cel mai răspândit la matriţele de injectat materiale termoplastice (*fig.6.83*). La deschiderea maşinii, tija de aruncare ia contact cu opritorul maşinii de injectat şi împinge înainte placa aruncătoare. Ştifturile de aruncare scot piesa injectată de pe poanson. Ştifturile readucătoare servesc pentru readucerea plăcii aruncătoare în poziţia iniţială, o dată cu închiderea maşinii, pentru începerea unui nou ciclu de injectare.

Numărul ştifturilor de aruncare şi aşezarea lor pe suprafaţa piesei injectate se stabilesc astfel încât piesa injectată să fie aruncată uniform, fără întârziere şi fără deteriorări. Pe lângă aruncarea propriu-zisă, ştiftul de aruncare mai are şi rolul de aerisire a cuibului matriţei la umplerea sa cu material plastic, prin ajustajul cu joc la montarea sa în gaură. Din acest motiv, este important ca la amplasarea ştifturilor de aruncare să

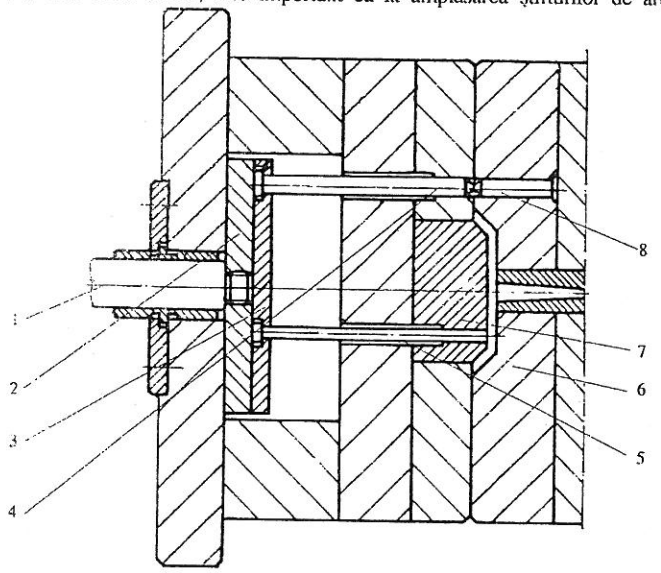


Fig.6.83. Aruncare cu ştifturi:
1 - tijă de aruncare; 2 - placă aruncătoare; 3 - placă portaruncătoare; 4 - ştift readucător; 5 - ştift de aruncare; 6 - placă de formare; 7 - poanson; 8 - ştift tampon.

se ţină seama de zonele unde aerul din cuib este împins de către materialul plastic.

Ştifturile de aruncare sunt fixate în placa portaruncătoare, care este asamblată prin şuruburi de placa aruncătoare, ambele fiind acţionate de tija de aruncare. Ştifturile de aruncare se montează în placa de formare a matriţei cu joc, mărimea jocului fiind dependentă de tipul materialului plastic, de temperatura de injectare şi de temperatura matriţei.

La stabilirea ajustajului ştifturilor de aruncare trebuie luată în considerare încălzirea lor în timpul funcţionării, iar pentru ştifturile de aruncare având diametre mai mari, trebuie asigurată răcirea lor separată. Diametrele găurilor, pentru ştifturile de aruncare în placa intermediară, trebuie să fie suficient de mari pentru a evita frecările, iar în placa portaruncătoare ştifturile de aruncare se montează cu joc.

În majoritatea cazurilor nu se poate evita ca ştifturile de aruncare să nu lase urme vizibile pe suprafaţa piesei injectate. Suprafaţa frontală a ştifturilor de aruncare, pentru piese care nu sunt plane, se ajustează după suprafaţa piesei. În astfel de cazuri ştifturile de aruncare trebuie asigurate împotriva rotirii.

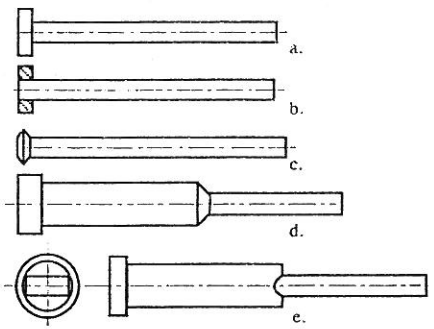
De cele mai multe ori, ştifturile de aruncare se fixează între două plăci, respectiv, între placa aruncătoare şi placa portaruncătoare, prin umărul ştiftului de aruncare (*fig.6.83*).

Există mai multe tipuri de ştifturi de aruncare. În *fig.6.84* se prezintă 5 variante constructive mai des întâlnite, şi anume:

- ştift de aruncare cu diametrul peste 12 mm, executat din material plin, cu umăr strunjit;
- ştift de aruncare cu diametrul între 3...12 mm, executat din bară, cu umărul în formă de inel, care se fixează pe capătul ştiftului prin presare;
- ştift de aruncare cu diametrul mai mare de 3 mm, fixat în placă prin ştemuire;
- ştift de aruncare cu corp cilindric de diametru mare şi cu tijă cilindrică cu diametru mic;
- ştift de aruncare cu corp cilindric şi cu tijă de secţiune dreptunghiulară.

Unele piese injectate nu prezintă zone libere pentru amplasarea ştifturilor de aruncare cilindrice obişnuite, necesitând ştifturi de aruncare plate subţiri. De asemenea, există cazuri în care trebuie să se evite rămânerea piesei injectate pe ştifturile de aruncare. În astfel de cazuri se pot utiliza soluţiile constructive prezentate în *fig.6.85*:

- ştift de aruncare cu diametrul sub 3 mm, care se fixează într-un ştift mai gros printr-un ajustaj cu strângere;
- stift de aruncare plat fixat într-o tijă cilindrică prin intermediul unor ştifturi ştemuite;
- ştift de aruncare cilindric, de lungime mare, fixat într-o tijă mai groasă prin intermediul unei piuliţe.



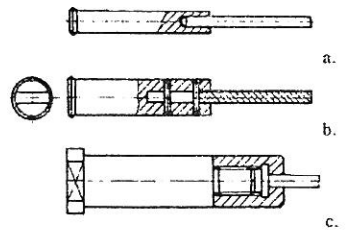


Fig.6.85. Ştifturi de aruncare speciale.

Fig.6.84. Variante constructive pentru ştifturi de aruncare.

Pentru piesele injectate cu suprafață frontală mare și cu peretele subțire se recomandă utilizarea știftului de aruncare tip taler, prezenta în *fig.6.86*. Acest tip de aruncător are de regulă diametrul peste 20 mm. În cazul utilizării acestei soluții constructive trebuie să se acorde atenție etanșării talerului. Se recomandă pentru unghiul α valoarea 20...30° deoarece alegerea unghiului între aceste limite favorizează funcționarea știftului de aruncare, asigură grosimea necesară a talerului și autocentrarea lui. Datorită grosimii sale mari, acest tip de știft de aruncare trebuie răcit separat.

Un caz aparte pentru știfturile de aruncare îl prezintă așa numitele aruncătoare centrale care au rolul de reține rețeaua de injectare în cazul injectării în matrițe cu mai multe cuiburi. Câteva exemple sunt prezentate în *fig.6.87*.

În *fig.6.87.a* alezajul bucșei se termină cu o parte conică având conicitatea inversă de circa 5°. Lungimea părții conice este egală cu diametrul aruncătorului central ($d = x$). Capătul aruncătorului central se află la o distanță $y = 0{,}4$ mm, față de zona conică a găurii. Zona de conducere *l* se alege de obicei egală cu (2...3)*d*.

În *fig.6.87.b* capătul extractorului este prelucrat în formă de *Z*, având conicitate inversă, iar în varianta *c* bucșa este prevăzută cu un șanț interior. Această ultimă soluție este recomandată pentru materialele termoplastice mai dure, deoarece există pericolul ca

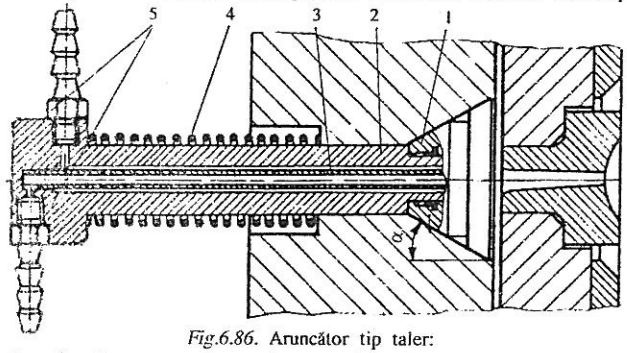


Fig.6.86. Aruncător tip taler:
1 - taler; 2 - corp aruncător; 3 - țeavă de răcire; 4 - arc; 5 - racord.

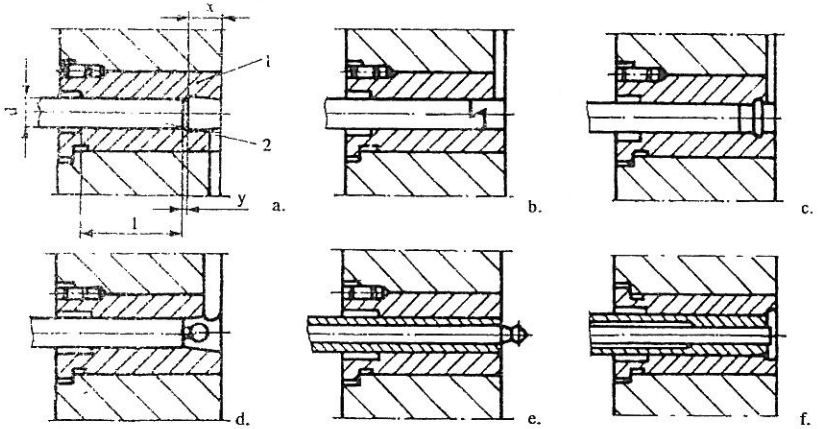


Fig.6.87. Soluții constructive pentru aruncătoarele centrale.

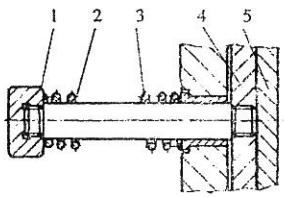


Fig.6.88. Tijă de aruncare cu arc elicoidal de readucere:
1 - tampon; 2 - tijă de aruncare;
3 - arc elicoidal;
4 - placă aruncătoare;
5 - placă portaruncătoare.

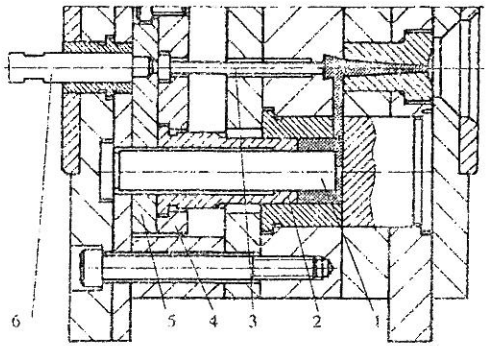


Fig.6.89. Matriță cu aruncătoare tubulare:
1 - poanson; 2 - aruncător tubular;
3 - aruncător central; 4 - placă portaruncătoare.
5 - placa aruncătoare; 6 - tijă aruncătoare.

materialul să rămână în șanțul inelar.

În *fig.6.87.d* alezajul bucșei are conicitate inversă, iar aruncătorul central este prevăzut cu cap sferic. Această soluție este potrivită pentru materialele termoplastice mai elastice, respectiv pentru scoaterea manuală a piesei injectate din cuibul matriței de injectat.

În *fig.6.87.e* se observă că în bucșa de ghidare funcționează un extractor de culee central și un aruncător tubular. Rolul de reținere a rețelei de injectare îl are extractorul central cu capul în formă de ciupercă, iar aruncătorul tubular elimină rețeaua de injectare de pe extractor.

În *fig.6.87.f* bucșa de ghidare are și rolul de reținere, fiind prevăzută cu o conicitate inversă care reține rețeaua de injectare. Aceasta se elimină la deschiderea matriței de către aruncătorul tubular.

Ansamblul de aruncare este readus în poziția inițială prin închiderea matriței de injectat, ca urmare a contactului dintre știfturile readucătoare și știfturile tampon. Ansamblul de aruncare poate fi readus în poziția inițială și datorită forței dezvoltate de un arc elicoidal montat pe tija de aruncare (*fig.6.88*).

6.4.2.1.2. Aruncare tubulară

În cazul pieselor simetrice circulare sau cu porțiuni simetrice având înălțime mare, care se contractă puternic pe poanson, se impune ca aruncarea să se facă uniform și în imediata apropiere a poansonului. Aceste cerințe sunt satisfăcute de aruncarea tubulară, prezentată schematic în *fig.6.89*. La deschiderea mașinii de injectat, tija de aruncare *6* ajunge la opritorul mașinii și împinge înainte placa aruncătoare *5* și portaruncătoarele *4*. Aruncătoarele tubulare *2* aruncă piesele injectate de pe poansoanele *1*, iar aruncătorul central *3* elimină rețeaua de injectare reținută în placa de formare.

Acest sistem de aruncare ridică uneori probleme de execuție datorită preciziei dimensionale necesare, aruncătorul fiind de regulă un tub cu pereți subțiri, cu secțiunea întărită la partea de fixare în placa portaruncătoare. Se recomandă călirea sau eventual nitrurarea suprafețelor în mișcare. Pentru evitarea deteriorării bucșei de aruncare, ea se montează în placa intermediară într-un alezaj cu un diametru mai mare cu 0,1...0,2 mm. În cazurile unor lungimi și diametre mai mari ale poansonului, este recomandată răcirea

poansonului pentru anularea diferențelor de dilatație termică între bucșa de aruncare și poanson, care poate duce la înțepenirea și deteriorarea bucsei de aruncare. În *fig.6.90* sunt prezentate câteva tipuri de aruncătoare tubulare.

6.4.2.1.3. Aruncarea cu placă dezbrăcătoare

Sistemul de aruncare cu placă dezbrăcătoare (*fig.6.91*) este recomandat în general pentru piesele circulare cu pereți subțiri și ușor deformabile, pentru piese circulare înalte și pentru cazul când trebuie evitată apariția pe suprafața pieselor injectate a urmelor de știfturi de aruncare. Aruncarea de acest tip se aplică atât la matrițele de injectat cu un singur cuib cât și la matrițele de injectat cu mai multe cuiburi. Placa dezbrăcătoare trebuie să ia contact cu suprafețele frontale ale piesei, prin acționarea sa determinând împingerea piesei de pe poanson. Placa dezbrăcătoare, în timpul cursei de aruncare și retragere, este ghidată prin intermediul coloanelor *2* și a bucșelor de ghidare *3*. La închiderea matriței, placa dezbrăcătoare este readusă în poziția inițială datorită contactului cu partea fixă a matriței de injectat sau cu ajutorul forței dezvoltate de arcul elicoidal *7* al tijei de aruncare. Cursa plăcii dezbrăcătoare la deschidere este limitată de tija tampon *4*.

În cazul injectării materialelor termoplastice elastice (de exemplu a poietilenei) aplicând sistemul de aruncare cu placă dezbrăcătoare se pot realiza piese injectate cu mici porțiuni umbrite, în matrițe de injectat simple fără deschidere laterală.

6.4.2.1.4. Aruncătoare speciale

Există unele piese injectate, cu zone umbrite în interior, care nu se pot realiza din poanson. În astfel de cazuri se folosesc aruncătoare speciale având și rol de poanson pentru formarea piesei. În *fig.6.92* este prezentată soluția injectării piesei având o zonă umbrită, prin utilizarea pentru realizarea formei interioare a unui aruncător înclinat. Pe

Fig 6.90. Tipuri de aruncătoare tubulare.

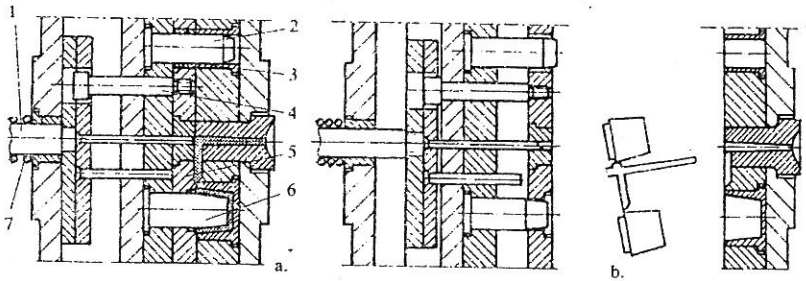


Fig.6.91. Sistem de aruncare cu placă dezbrăcătoare:
a - matriță în poziție închisă; b - matriță în poziție deschisă;
1 - tijă de aruncare; 2 - coloană de ghidare; 3 - bucșă de ghidare; 4 - tijă tampon;
5 - placă dezbrăcătoare; 6 - poanson; 7 - arc.

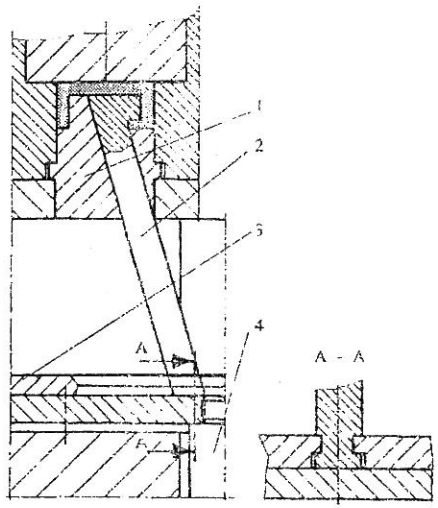


Fig.6.92. Aruncarea cu aruncător înclinat:
1 - poanson; 2 - aruncător; 3 - placă portaruncătoare cu canal de ghidare; 4 - tijă de aruncare.

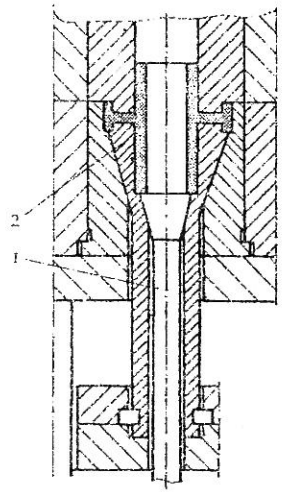


Fig.6.93. Aruncător special:
1 - aruncător; 2 - aruncător special.

lângă rolul de aruncare, acesta realizează și forma interioară a piesei, având în placa portaruncătoare o mișcare ghidată.

Un alt caz în care aruncătorul prin forma lui realizează configurația piesei este prezentat în *fig.6.93*. Aici sunt de fapt două aruncătoare: aruncătorul *1* care realizează gaura piesei și aruncătorul *2* care definește forma ei exterioară. Aruncarea se face în două trepte: în prima treaptă se scoate piesa de pe aruncătorul *1*, iar în a doua treaptă se face aruncarea piesei din cuib cu ajutorul aruncătorului *2*.

6.4.2.2. Mecanisme de aruncare cu retragere

La unele piese injectate, este nevoie să se introducă, într-o a doua fază de injectare, inserții metalice sau inserții din material plastic în cuibul matriței. În asemenea cazuri pot apare complicații deoarece sistemul de aruncare a fost deja actionat după prima injectare și știfturile de aruncare se găsesc în față, fiind amplasate de regulă sub inserție, pentru a asigura o bună aruncare și a se evita bavurile în zona inserției. De asemenea, pentru matrițele de injectat cu deschidere prin bacuri, știfturile de aruncare aflate în față, pot provoca la închiderea bacurilor deteriorararea acestora. Este deci necesar ca știfturile de aruncare să fie retrase înaintea închiderii bacurilor.

În aceste cazuri se folosesc mecanisme care, după aruncare, realizează retragerea sistemului de aruncare în vederea montării inserției sau eliberării spațiului în care alunecă bacul lateral.

În *fig.6.94* este prezentat un mecanism de aruncare cu retragere mecanică. Mecanismul este înșurubat în blocul de aruncare al mașinii de injectat și asigurat cu contrapiulița *9*. La deschiderea matriței de injectat, tija de aruncare *3* se atinge de tamponul oscilant *1*, punând în mișcare placa aruncătoare și placa portaruncătoare cu știfturile de

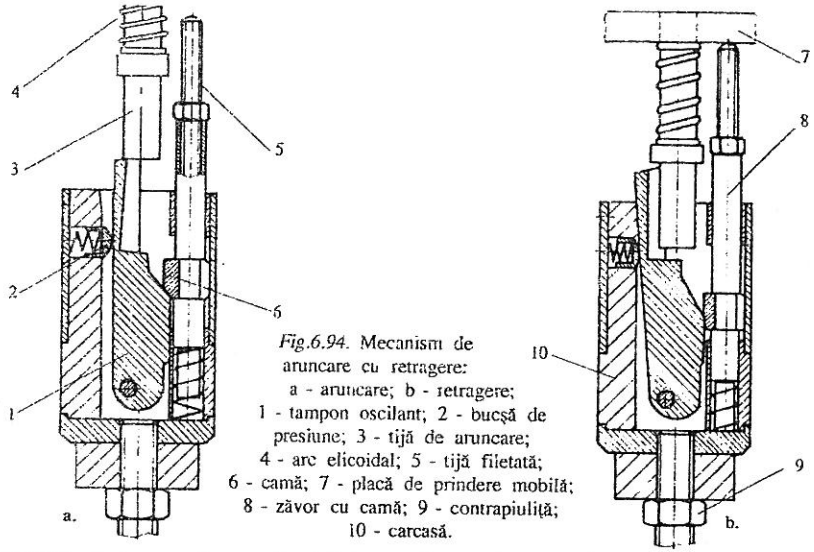


Fig.6.94. Mecanism de aruncare cu retragere:
a - aruncare; b - retragere;
1 - tampon oscilant; 2 - bucșă de presiune; 3 - tijă de aruncare;
4 - arc elicoidal; 5 - tijă filetată;
6 - camă; 7 - placă de prindere mobilă;
8 - zăvor cu camă; 9 - contrapiuliță;
10 - carcasă.

aruncare pentru expulzarea piesei injectate. În continuarea mișcării de deschidere a matriței, placa de prindere mobilă *7* ia contact cu tija filetată *5* a zăvorului *8*. Cama *6* apasă asupra tamponului oscilant *1* care împinge arcul bucșei de presiune *2*, astfel încât tija de aruncare, sub acțiunea arcului elicoidal, revine la poziția ei inițială, antrenând plăcile aruncătoare și portaruncătoare împreună cu știfturile de aruncare. Astfel, la sfârșitul cursei de aruncare, știfturile de aruncare sunt complet retrase, iar inserția se poate introduce în cuibul matriței de injectat.

Un alt tip de mecanism de aruncare cu retragere este prezentat în *fig.6.95.* Prin împingerea tijei de aruncare *7* este acționată placa aruncătoare *2*, cu știfturile de aruncare *3*, piesa fiind expulzată din cuibul matriței. În continuarea cursei de deschidere, tija de aruncare *7* eliberează bilele *6* din poziția lor blocată în poziție liberă, astfel încât forța arcului *5* determină retragerea tijei de acționare *4* împreună cu placa aruncătoare și știfturile de aruncare.

Mecanismul de aruncare cu retragere prezentat în *fig.6.96* se montează în blocul fix al mașinii de injectat prin înșurubarea tamponului tubular *1* care, la capătul lui dinspre matriță, are două fante. Tija de aruncare *4* este prevăzută la capătul ei cu două aripioare articulate *3* acționate de arcul *2*. În prima etapă a aruncării, aripioarele lovesc marginea teșită a tamponului tubular *1*, acționând placa aruncătoare *6* cu știfturile de aruncare care scot piesa de pe poanson. În același timp, arcurile *7* sunt comprimate. În etapa următoare a aruncării, aripioarele *3* sunt împinse de degajarea bucșei *5* și tija de aruncare *4* poate scăpa în gaura tamponului tubular. Astfel, arcurile *7* împing înapoi placa aruncătoare cu știfturile de aruncare, eliberând locașurile pentru montarea inserțiilor.

O altă soluție constructivă pentru mecanismele cu retragere este prezentată în *fig.6.97.* La deschiderea matriței, tamponul *10* antrenează prin intermediul plăcii de blocare *1* întregul sistem de aruncare care cuprinde plăcile *2* și *3*, tijele de aruncare *8*, placa aruncătoare *7* și placa portaruncătoare *6*. În cursul acestei mișcări se comprimă arcul *11* și arcul *4*. După o anumită cursă, cama *5* acționează placa de blocare *1* care comprimă arcurile *9*, deblocând astfel sistemul de aruncare; datorită forței exercitate de

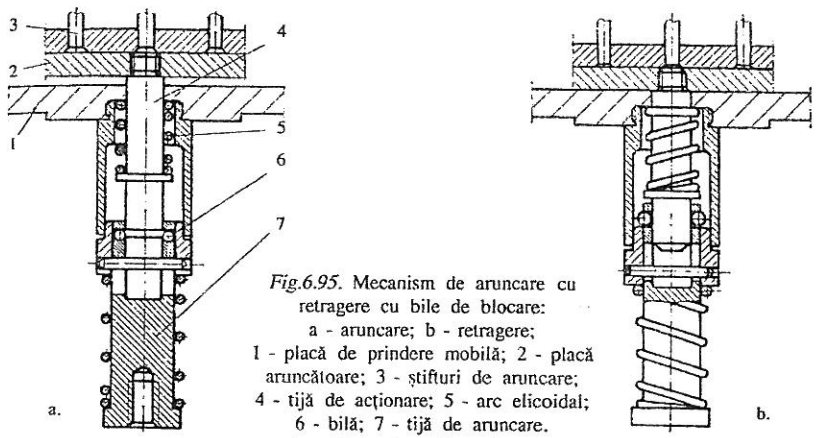


Fig.6.95. Mecanism de aruncare cu retragere cu bile de blocare:
a - aruncare; b - retragere;
1 - placă de prindere mobilă; 2 - placă aruncătoare; 3 - știfturi de aruncare;
4 - tijă de acționare; 5 - arc elicoidal;
6 - bilă; 7 - tijă de aruncare.

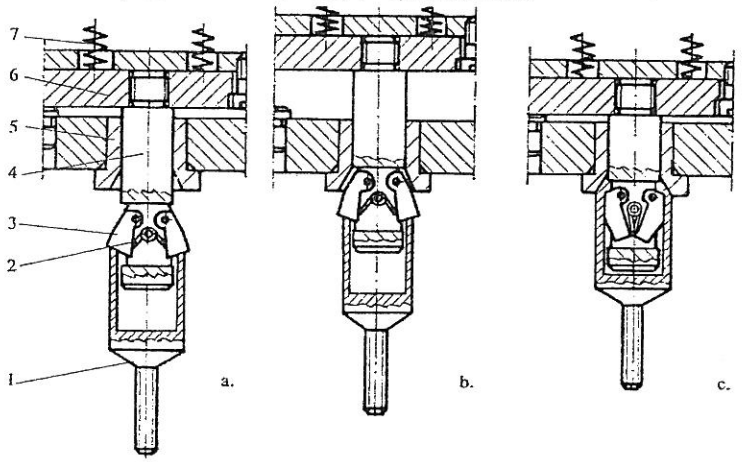


Fig.6.96. Mecanism de aruncare cu aripioare cu retragere:
a - începutul aruncării; b - terminarea aruncării; c - retragerea sistemului de aruncare;
1 - tampon tubular; 2 - arc; 3 - aripioară; 4 - tijă de aruncare;
5 - bucșă; 6 - placă aruncătoare; 7 - arc elicoidal.

arcul *4* se produce o retragere rapidă a sistemului de aruncare chiar în timpul cursei de deschidere. La deschiderea matriței, arcul *11* determină revenirea tamponului la poziția inițială. În timpul cursei de revenire a tamponului *1*, placa de blocare revine la poziția inițială de blocare a tamponului datorită arcului *9*.

6.4.2.3. Mecanisme cu aruncare în trepte

Practica injectării a impus realizarea unor mecanisme de aruncare în trepte. Acest tip de aruncare se practică de exemplu în cazurile impuse de configurația geometrică

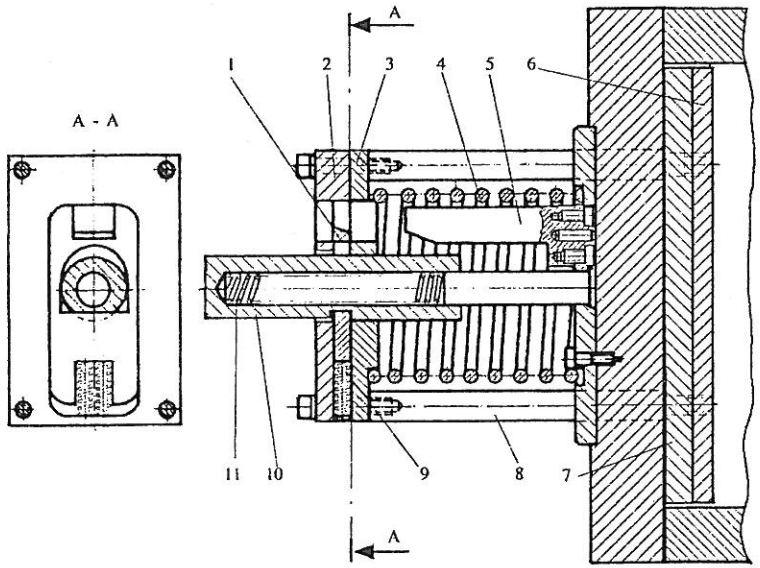


Fig.6.97. Mecanism cu retragere cu camă:
1 - placă de blocare; 2 - placă suport; 3 - placă de presiune; 4 - arc; 5 - camă; 6 - placă portaruncătoare; 7 - placă aruncătoare; 8 - tijă de aruncare; 9 - arc; 10 - tampon; 11 - arc.

specială a piesei, a existenței unor părți umbrite, a necesității aruncării piesei injectate separat de rețeaua de injectare, etc.

În *fig.6.98* este prezentată o matriță de injectat cu un sistem de aruncare prin știfturi de aruncare, în două trepte. În prima treaptă, aruncarea se realizează cu ansamblul de plăci aruncătoare și portaruncătoare *2* și *3* prin acționarea tijei aruncătoare *1* de către opritorul mașinii de injectat, fiind acționate știfturile de aruncare *6*. În timpul cursei de deschidere, ansamblul de portaruncătoare *2* și *3*, în mișcare, împinge ansamblul de plăci *4* și *5*, astfel încât sunt acționate și știfturile de aruncare *7*, realizându-se cea de-a doua treaptă de aruncare.

În *fig.6.99* este prezentată construcția și modul de funcționare al unei matrițe de injectat având patru cuiburi, cu aruncare în două trepte a pieselor injectate. La deschiderea matriței, în prima treaptă de aruncare, arcurile taler *6*, apăsând asupra plăcii aruncătoare *4*, o împing înainte împreună cu placa aruncătoare *3*. Prin aceasta, bucșele de aruncare *1* și *2* scot piesa injectată de pe poansonul *5*. Placa aruncătoare *4*, tamponându-se de reazemul plăcii distanțiere *8*, se oprește, iar placa aruncătoare *3*, prin tamponarea tijei de aruncare *7* de tamponul fix al mașinii, mai înaintează câțiva milimetri. Astfel, în această a doua treaptă de aruncare, bucsa de aruncare *2* scoate piesa injectată de pe bucșa de aruncare *1*. Construcția prezentată poate fi utilizată numai în cazul în care la a doua treaptă de aruncare cursa este scurtă.

În cazul în care forma piesei reclamă curse de aruncare mai lungi, în treapta a doua de aruncare poate fi folosită cu succes construcția prezentată în *fig.6.100*. În acest caz, la capătul tijei de aruncare *5* se găsesc două elemente basculante *7*. La aruncare, elementele basculante împing atât plăcile *1* și *2* ale sistemului de aruncare *I*, cât și plăcile *3* și *4* ale sistemului de aruncare *II*, atât timp cât în mișcarea lor elementele

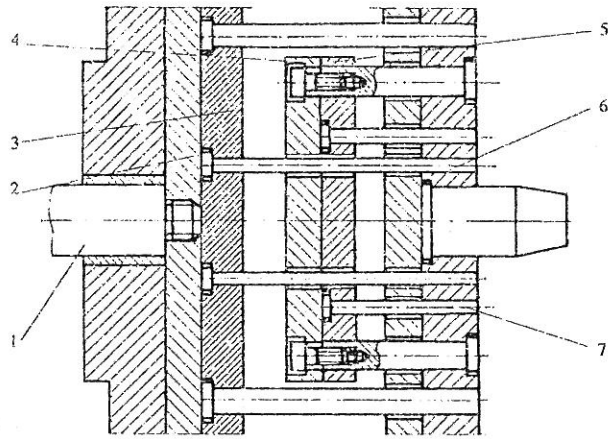


Fig.6.98. Mecanism de aruncare în două trepte, cu știfturi:
1 - tijă de aruncare; 2 - placă aruncătoare; 3 - placă portaruncătoare; 4 - placă aruncătoare; 5 - placă portaruncătoare, 6 - aruncător; 7 - aruncător.

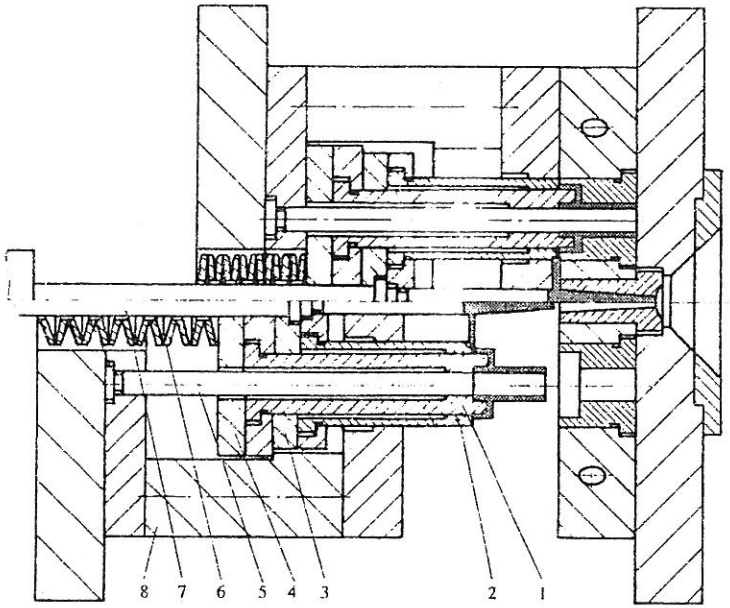


Fig.6.99. Mecanism de aruncare în două trepte cu aruncare tubulară:
1, 2 - bucșă de aruncare; 3, 4 - plăci de aruncare; 5 - poanson; 6 - arc taler; 7 - tijă de aruncare; 8 - placă distanțieră.

basculante *7* se găsesc încă în bucșa *9*. Șurubul de tamponare *8* împiedică continuarea cursei sistemului de aruncare *II*. Elementele basculante se rotesc în jurul axului lor și

în continuare tija de aruncare *5* împinge înainte numai sistemul de aruncare *I*, format din plăcile *1* şi *2* (*fig.6.100.c*).

O soluţie ingenioasă pentru mecanismul de aruncare în două trepte este prezentată în *fig.6.101*. La atingerea opritorului maşinii de injectat, tija de aruncare *1*, prin intermediul segmentului *5*, împinge bucşa *3* şi astfel sunt acţionate ambele ansambluri de plăci de aruncare *A* şi *B*. La un moment dat, segmentul *5* scapă în locaşul interior al bucşei *4*, mişcarea bucşei *3* încetează datorită piuliţei *2* care ia contact cu bucşa *4*. Ca urmare, ansamblul de plăci *A* se opreşte, continuându-şi mişcarea numai ansamblul de plăci *B*.

O modalitate de folosire a mecanismului de aruncare din *fig.101* este prezentată în *fig.6.102*, în care se poate urmări modul de scoatere al piesei injectate din cuib în prima treaptă de aruncare (*b*) şi apoi aruncarea piesei de pe poanson în a doua treaptă de aruncare (*c*).

6.4.2.4. Mecanism de aruncare cu amplificare

Există piese injectate care necesită la aruncare forţe mari. Este cazul pieselor injectate care se demulează pe mai multe contururi, piese cu nervuri, etc. În aceste cazuri lustruirea suprafeţelor poansoanelor sau conicităţi mărite nu ajută în mare măsură la diminuarea forţei de demulare. În acest caz se foloseşte un mecanism cu multiplicarea

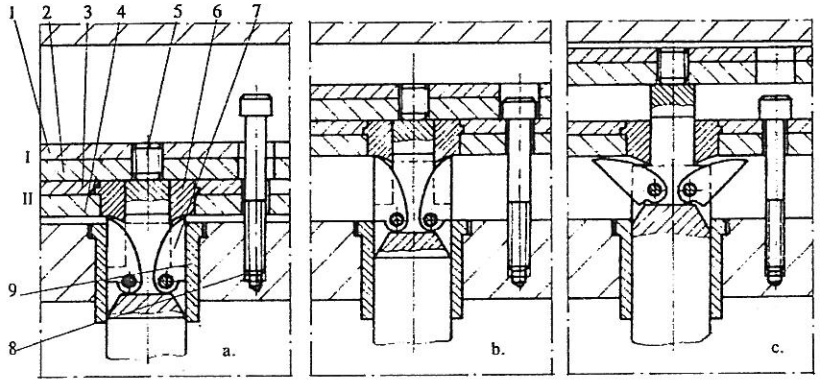


Fig.6.100. Mecanism de aruncare în două trepte sistem clichet:
1, 2 - plăci de aruncare I; 3, 4 - plăci de aruncare II; 5 - tijă de aruncare; 6 - bucşă;
7 - element basculant; 8 - şurub de tamponare; 9 - bucşă.

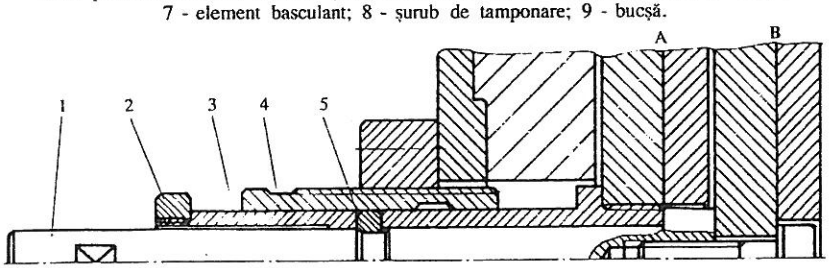


Fig.6.101. Mecanism de aruncare în două trepte sistem tubular:
1 - tijă de aruncare; 2 - piuliţă; 3, 4 - bucşă; 5 - segment elastic.

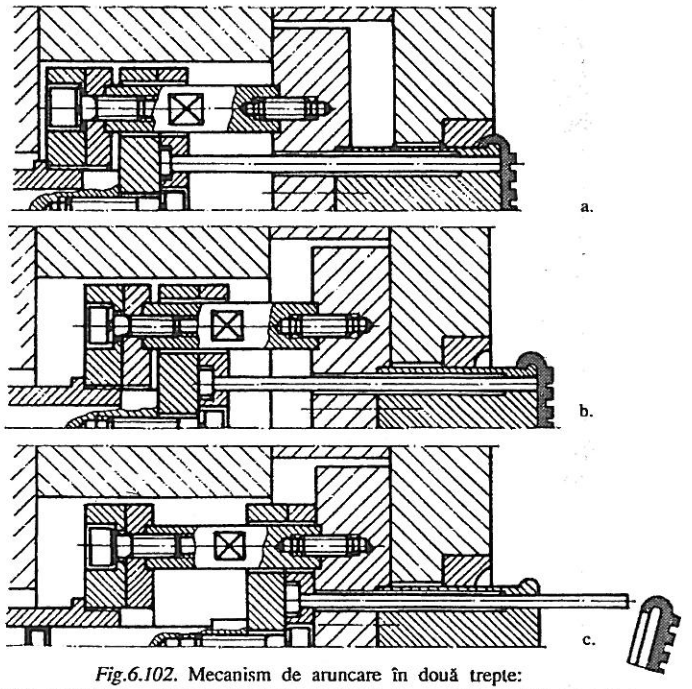


Fig.6.102. Mecanism de aruncare în două trepte:
a - poziţia iniţială; b - prima treaptă de aruncare; c - a doua treaptă de aruncare.

forţei de aruncare (*fig.6.103*). Mecanismul se montează pe placa de prindere a matriţei cu ajutorul a patru şuruburi. La deschiderea matriţei de injectat, tamponul *1* montat pe maşină loveşte pârghia *2* care se roteşte în jurul bolţului *3*, pârghie care exercită apăsare asupra tijei de aruncare *4*. Pârghia *2* este astfel construită încât oscilaţia ei maximă determină o cursă corespunzătoare de aruncare.

6.4.2.5. Sisteme de aruncare pentru separarea reţelei de piesa injectată

În afara sistemelor de injectare cu canal tunel, care asigură prin construcţia sistemului separarea reţelei de injectare de piesa injectată, pot fi concepute sisteme de aruncare care să asigure desprinderea la aruncare a piesei injectate de reţea.

Sistemele de separare ale pieselor injectate de reţeaua de injectare se aplică cu prioritate la matriţele cu mai multe cuiburi. La proiectarea acestor sisteme trebuie să se aibă în vedere următoarele:

- timpul de răcire al reţelei de injectare să nu fie mai mare decât timpul de răcire al pieselor injectate;
- cursa de deschidere a matriţei de injectat să fie suficient de mare pentru a asigura căderea liberă separată, atât a pieselor injectate cât şi a reţelei de injectare;
- elementele componente ale matriţei de injectat, cum sunt: coloanele de ghi-

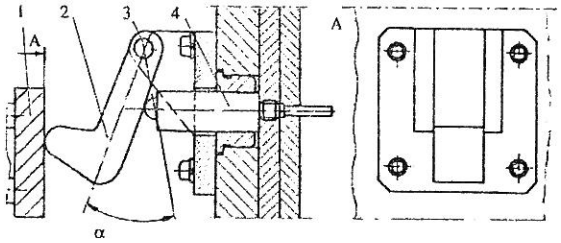


Fig.6.103. Mecanism de aruncare cu amplificare:
1 - tampon; 2 - pârghie; 3 - bolț; 4 - tijă de aruncare; α - unghi de aruncare.

dare, știfturile de aruncare, etc., să fie amplasate în așa fel încât să nu împiedice căderea pieselor, respectiv a rețelei de injectare din matrița deschisă.

Pentru separarea pieselor injectate de rețeaua de injectare există o serie de soluții constructive, dintre care unele realizează această separare prin deschiderea matriței într-un singur plan, iar altele în două sau mai multe planuri de separație.

În *fig.6.104* sunt prezentate schematic soluții constructive pentru separarea pieselor injectate de rețeaua de injectare, prin deschiderea matriței într-un singur plan de separație. Deschiderea matriței de injectat se face într-o singură treaptă, în planul de separație *I*. În varianta *a*, la deschiderea matriței piesa iese din cuib și culeea din duza *1*. Știfturile de aruncare *2* și *3* aruncă atât piesa injectată cât și culeea. Datorită deplasării laterale a piesei, ea se desprinde de rețeaua de injectare. În varianta *b*, la deschiderea matriței de injectat piesa iese din cuib și culeea din duză. Știftul de aruncare *3* aruncă piesa care se desprinde de rețeaua de injectare, iar culeea este aruncată întârziat după acționarea aruncătoarelor *2* și *5* de către placa portaruncătoare *6*.

În *fig.6.105* sunt prezentate schematic două variante de matrițe de injectat, la care separarea piesei injectate de rețeaua de injectare se efectuează cu deschidere în două planuri de separație. În varianta *a*, la deschiderea matriței în planul *I*, culeea iese din duza *1*, iar arcul *4*, comprimat încă la faza de injectare, determină mișcarea de alunecare a aruncătorului *2*, provocând desprinderea culeei din piesă și eliminarea din matrița de

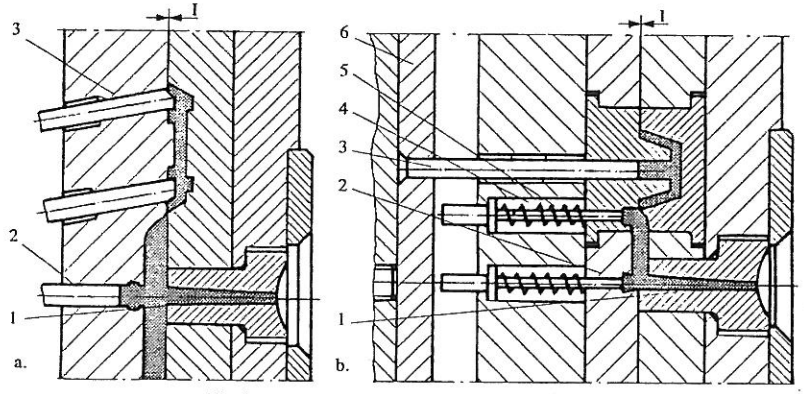


Fig.6.104. Separarea piesei injectate de rețea:
1 - duză; 2 - aruncător central; 3 - știft de aruncare;
4 - arc; 5 - aruncător de rețea; 6 - placă portaruncătoare; a, b - variante constructive.

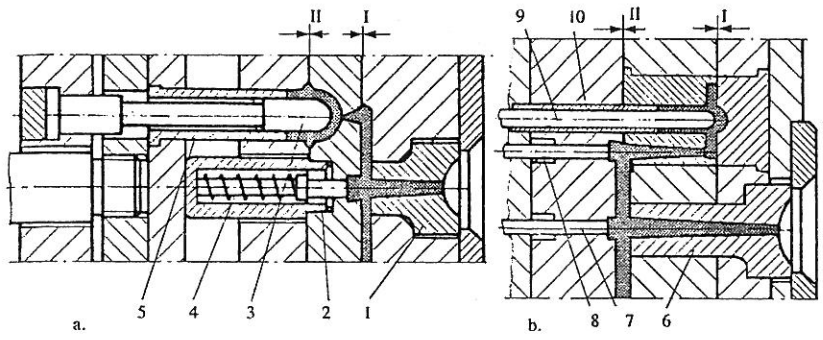


Fig.6.105. Separarea piesei injectate de rețeaua de injectare
prin deschiderea matriței în două plane de separație:
1 - duză; 2 - aruncător central; 3 - poanson; 4 - arc; 5 - aruncător tubular; 6 - duză;
7 - aruncător central; 8 - aruncător de rețea; 9 - poanson; 10 - aruncător tubular;
a, b - variante constructive.

injectat. În continuare, la deschiderea matriței în planul *II*, piesa injectată iese din cuib și este aruncată de pe poansonul *3*, de către aruncătorul tubular *5*. În varianta *b* este prezentată o soluție constructivă pentru separarea unei piese injectate cu lungime relativ mare, de rețeaua de injectare. La deschiderea matriței în planul *I*, culeea centrală iese din duza *6*, culeea punctiformă se desprinde de piesă și aruncătoarele *7* și *8* aruncă rețeaua de injectare. La deschiderea matriței de injectat în planul *II*, piesa injectată iese din cuib și apoi este aruncată de pe poansonul *9* cu ajutorul aruncătorului tubular *10*.

În *fig.6.106* se prezintă variante constructive pentru separarea pieselor injectate de rețeaua de injectare la matrițe cu deschiderea în mai multe planuri de separație. În ambele variante, la deschiderea matriței de injectat în planul *I*, digul se rupe, culeea se elimină din duza *1* și este aruncată de către aruncătoarele *3* și *4*. La deschiderea în planul *II*, piesa injectată este eliminată din cuib, rămânând pe poansonul *2* și este aruncată de pe acesta la deschiderea matriței de injectat în planul *III*. Deosebirea între cele două variante constă în aceea că poansonul de formare în varianta *a* este în partea aruncării, iar în varianta *b* în partea injectării.

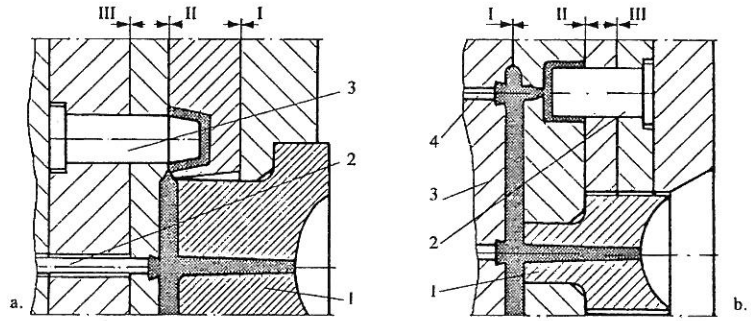


Fig.6.106. Separarea piesei injectate de rețeaua de injectare
prin deschiderea matriței în mai multe plane de separație:
1 - duză; 2 - poanson; 3 - aruncător central; 4 - aruncător; a, b - variante constructive.

6.4.2.6. Aruncarea pneumatică

Sistemul de aruncare al matriței de injectat (placă aruncătoare, placă portaruncătoare, ştifturi de aruncare, etc.) poate fi acționat şi de un cilindru pneumatic, așa cum se prezintă în *fig.6.107.* Cilindrul pneumatic este montat pe matrița de injectat, pistonul lui fiind comandat de cursa de deschidere - închidere a matriței, prin intermediul unor limitatoare de cursă. În unele cazuri, cilindrul pneumatic se folosește numai pentru cursa de aruncare, revenirea făcându-se prin forța dezvoltată de un arc de retragere.

În cazul în care piesele injectate au înălțime relativ mare şi se contractă puternic pe poanson, se recomandă folosirea sistemului de aruncare pneumatică directă cu ajutorul unei supape pneumatice prezentat schematic în *fig.6.108.*

În *fig.6.109* este prezentată o matriță de injectat cu două cuiburi, prevăzută cu un sistem de aruncare pneumatic, având un aruncător tip supapă. Partea mobilă a matriței este racordată la o rețea de aer comprimat care asigură o presiune de 6 bari. La deschiderea completă a matriței de injectat, limitatorul de cursă reglat corespunzător cursei de deschidere, acționează un ventil prin care aerul comprimat intră mai întâi sub pistonul *4*, ridicând talerul *2*. În acest moment aerul comprimat, trecând prin canalul *a*, intră sub piesa injectată şi o elimină de pe poansonul *3.*

În unele cazuri, aruncarea pneumatică este folosită în combinație cu aruncarea mecanică pentru a asigura scoaterea fără deteriorare a pieselor injectate de pe poanson. Un astfel de sistem de aruncare combinat este prezentat schematic în *fig.6110.*

Aerul comprimat poate fi folosit şi pentru eliminarea culeei la matrițele de injectat cu un singur cuib, pentru piesele injectate cu greutatea până la 100g, conform construcției prezentate schematic în *fig.6.111.* Aerul comprimat pătrunde din tubul *2* într-un spațiun inelar şi exercită o anumită presiune asupra bucşei mobile *3.* Aceasta, deplasându-se, permite aerului comprimat ca, prin presiunea exercitată asupra gulerului culeei, să o extragă concomitent cu retragerea duzei de injectare a mașinii de injectat.

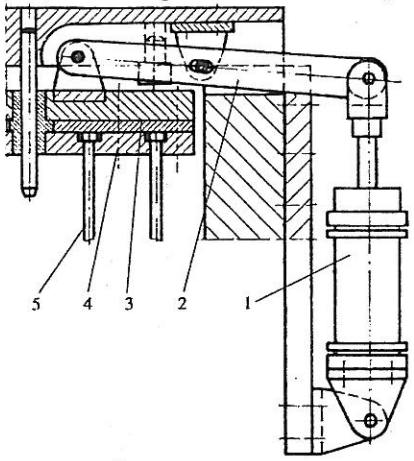


Fig.6.107. Aruncare pneumatică:
1 - cilindru pneumatic; 2 - braț de acționare; 3 - placă aruncătoare; 4 - placă portaruncătoare; 5 - ştift de aruncare.

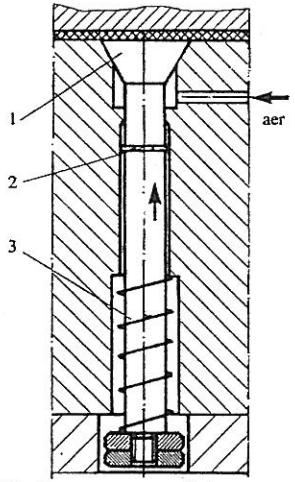


Fig.6.108. Aruncare pneumatică cu supapă:
1 - ştift de aruncare; 2 - inel de etanşare; 3 - arc elicoidal.

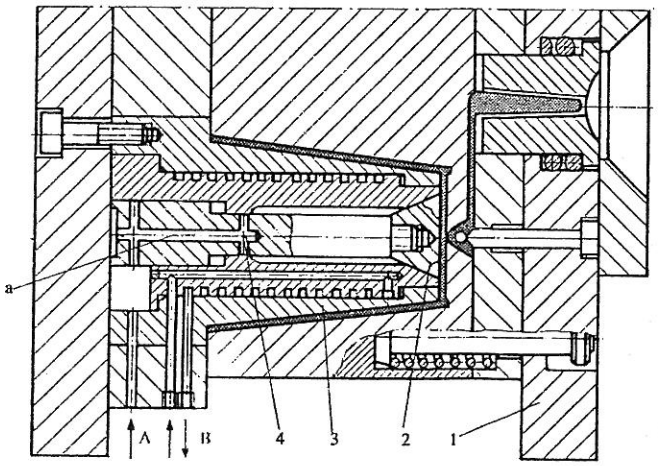


Fig.6.109. Matriță cu aruncare pneumatică:
1 - placă de prindere fixă; 2 - taler; 3 - poanson; 4 - piston; a - canal pentru aer; A - intrare aer; B - intrare-ieşire mediu temperare.

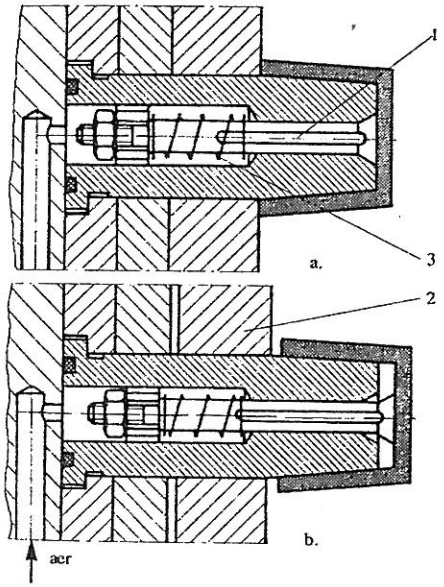


Fig.6.110. Aruncare pneumatică:
a - poziție inițială; b - aruncare activată; 1 - aruncător cu supapă; 2 - placă dezbrăcătoare; 3 - arc elicoidal.

6.4.2.7. Aruncarea hidraulică

Sistemul hidraulic de aruncare a pieselor din matriță folosește, de regulă, un motor hidraulic liniar care primeşte presiune de la sistemul hidraulic al mașinii de injectat.

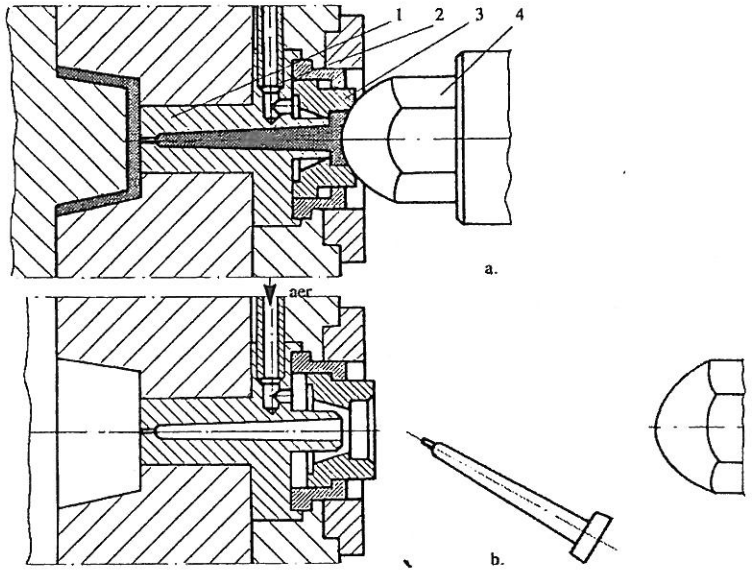


Fig.6.111. Aruncarea culeei cu aer comprimat:
1 - duză; 2 - tub pentru aer; 3 - bucşă matriţă; 4 - duză maşină.

În general, motorul hidraulic liniar aparţine maşinii de injectat, fiind montat pe platoul maşinii de injectat prin intermediul unui suport (*fig.6.112*). Comanda aruncării şi retragerii sistemului de aruncare se realizează prin programul de lucru al maşinii. Tija motorului hidraulic *1* este legată de tija de aruncare a matriţei de injectat *6* prin intermediul unei cuple rapide *5*. Limitele de cursă ale tijei motorului hidraulic sunt sesizările de la limitatoarele de cursă *2* acţionate prin intermediul unei came montate pe tijă.

În unele cazuri deosebite se pot realiza aruncarea unor piese injectate care necesită forţe de aruncare mari cu ajutorul unor motoare hidraulice montate chiar pe matriţa de injectat.

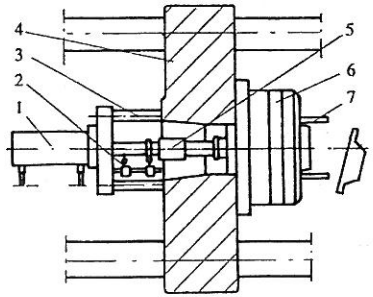


Fig.6.112. Aruncarea hidraulică:
1 - motor hidraulic liniar; 2 - limitator de cursă; 3 - suport; 4 - platou mobil maşină; 5 - cuplă; 6 - matriţă; 7 - aruncător.

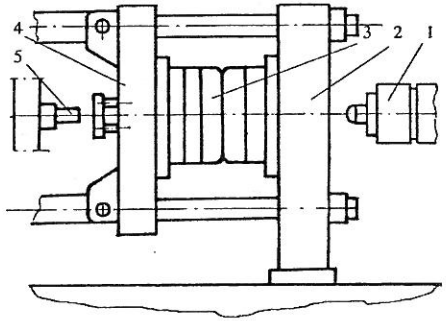


Fig.6.113. Matriţă montată pe platourile maşinii de injectat:
1 - cilindrul maşinii de injectat;
2 - platoul fix al maşinii; 3 - matriţă de injectat;
4 - platoul mobil al maşinii; 5 - tampon.

6.5. Centrarea şi conducerea matriţelor de injectat

În procesul de injectare a materialelor termoplastice, matriţele se montează între platourile maşinii de injectat (*fig.6.113*).

Matriţei de injectat i se impun printre alte condiţii şi următoarele:

- obţinerea unei piese injectate cu contur corect şi pereţi uniformi;
- alinierea duzei matriţei cu duza maşinii de injectat;
- alinierea sistemului de aruncare al matriţei cu sistemul de aruncare al maşinii de injectat;
- o reglare uşoară a matriţei pe platourile maşinii de injectat;
- o poziţie stabilă a plăcilor matriţei o perioadă lungă de timp, care să asigure o stabilitate a formei piesei injectate şi o bună funcţionare a sistemelor mobile din cadrul matriţei.

Se poate vorbi de două tipuri de centrări şi conduceri: exterioare şi interioare [1]. Prin *centrare exterioară* se înţelege poziţionarea matriţei de injectat în raport cu matriţa de injectat, iar prin *centrare interioară* poziţionarea celor două jumătăţi de matriţă şi a elementelor ei.

La o matriţă de injectat se pot întâlni elemente de centrare, conducere şi ghidare: inele de centrare, ştifturi de centrare, coloane şi bucşe de conducere şi de centrare, alte elemente de conducere şi centrare.

6.5.1. Centrarea exterioară

Plaoul fix şi mobil al maşinii de injectat sunt prevăzute cu degajări în care se introduc elementele matriţei, numite *inele de centrare*. Ele au rolul de a centra partea fixă şi partea mobilă a matriţei în raport cu platoul fix şi mobil al maşinii de injectat (*fig.6.114* şi *fig.6.115*). În afară de rolul principal de centrare, inelele mai au rolul de a permite accesul duzei maşinii de injectat la duza matriţei, de a fixa axial duza matriţei, de a fixa bucşa de conducere a tijei de aruncare a matriţei.

Inelele de centrare se scufundă parţial în plăcile de prindere ale matriţei şi se fixează cu ajutorul a două sau mai multe şuruburi.

Degajările din platoul fix şi mobil al maşinii de injectat sunt realizate în sistemul de alezaj unitar H7. Pentru a nu se ajunge la supradeterminare, în cazul centrării matriţei pe cele două platouri se preferă centrarea pe partea fixă folosind ajustajul H7/e8, iar în partea mobilă se lasă un ajustaj cu joc mai mare.

Inelele de centrare sunt elemente care se pretează tipizării, fiind oferite de firmele producătoare de elemente tipizate pentru matriţe [54, 55]. Inelele de centrare din partea fixă se livrează în formă finală, iar inelele din partea mobilă se livrează de regulă fără gaură, în aşa fel încât ulterior se prelucrează în funcţie de sistemul de aruncare (*fig.6.116*).

Degajările de centrare din platourile maşinii sunt în general diferite în funcţie de tipul şi mărimea maşinii. Pentru a putea permite ca o matriţă să se monteze la diferite maşini, se folosesc în mod curent elemente intermediare de centrare.

Centrarea matriţei pe platourile maşinii se face în felul următor:

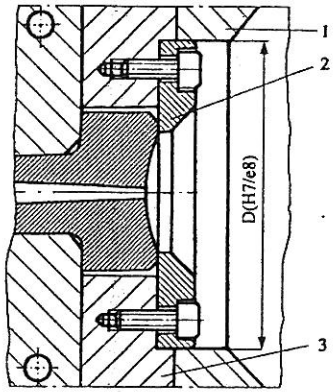


Fig.6.114. Centrarea matriţei în partea fixă:
1 - platoul fix al maşinii;
2 - inel de centrare;
3 - placa de prindere a matriţei.

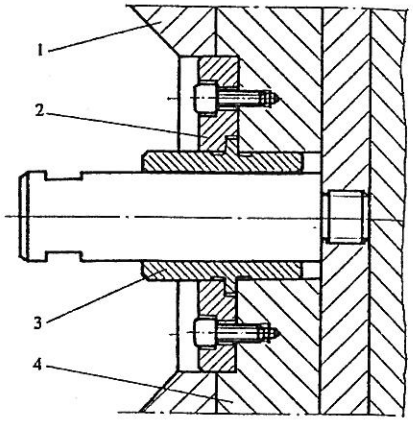


Fig.6.115. Centrarea matriţei în partea mobilă:
1 - platoul mobil al maşinii;
2 - inel de centrare; 3 - bucşă de conducere;
4 - placa de prindere a matriţei.

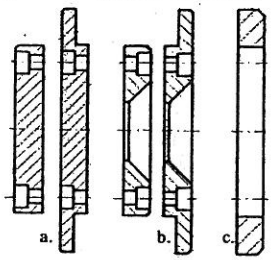


Fig.6.116. Centrarea matriţei în partea mobilă:
a - inele de centrare din partea mobilă;
b - inele de centrare din partea fixă;
c - inele intermediare.

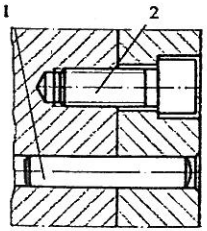


Fig.6.117. Fixarea şi centrarea plăcilor în matriţă:
1 - ştift de centrare;
2 - şurub de prindere.

- se îndepărtează platoul mobil al maşinii pentru accesul matriţei;
- se centrează matriţa închisă, prin intermediul inelului, în platoul fix;
- se prinde matriţa pe partea fixă prin intermediul bridelor sau şuruburilor;
- se apropie platoul mobil de matriţă, făcând centrarea prin intermediul inelului de centrare din partea aruncării;
- se fixează matriţa pe partea mobilă prin intermediul bridelor sau şuruburilor.

6.5.2. Centrarea interioară

Pentru centrarea a două plăci a unei matriţe de injectat se folosesc cel mai frecvent ştifturile cilindrice (*fig.6.117*). În cazul folosirii sistemului de centrare a ansamblului plăcilor matriţei cu ştifturi cilindrice, se folosesc de regulă fie două rânduri de ştifturi aşezate în diagonală (mai ales din partea duzei matriţei), fie patru rânduri de ştifturi

(mai ales în partea aruncării). În general se recomandă ca găurile pentru ştifturi să fie străpunse. Se admite introducerea ştifturilor în găuri înfundate cu condiţia să se prevadă în partea opusă o gaură mai mică pentru ieşirea aerului şi a demontării ulterioare a ştiftului în caz de necesitate.

Matriţa de injectat realizează o ultimă conducere şi centrare numai prin conducerea realizată de ea însăşi. Acest lucru se realizează prin coloanele şi bucşele de ghidare ale matriţei. Există mai multe tipuri constructive de centrare şi conducere, prin coloane şi bucşe la matriţele de injectat.

O soluţie constructivă frecvent întâlnită în construcţia matriţelor de injectat este cea din *fig.6.118*. În acest caz, conducerea şi centrarea matriţei se realizează prin intermediul coloanei de ghidare *5* şi a bucşei de ghidare *2*, centrarea plăcilor matriţei prin intermediul ştifturilor de centrare *1*, iar prinderea plăcilor matriţei prin intermediul şuruburilor de prindere *6*. Pentru o ghidare şi centrare corespunzătoare între cele două jumătăţi de matriţă (*A* şi *B*), este necesară o ajustare precisă între coloana şi bucşa de ghidare, precum şi în ceea ce priveşte ajustarea coloanei şi bucşei de ghidare în plăcile matriţei. Există recomandări în ceea ce priveşte toleranţele constructive ale coloanei şi bucşei de ghidare (cap.6.12). Lungimea coloanelor de ghidare este în funcţie de grosimea plăcilor în care se montează, de adâncimea cuibului matriţeişi construcţia sistemului de aruncare.

Lungimea bucşei de ghidare se potriveşte în funcţie de diametrul de ghidare, recomandându-se o lungime de ghidare de 1,5...3 din diametrul de ghidare (*fig.6.119*).

Pentru reducerea uzurii se recomandă ungerea coloanelor de ghidare cu bisulfură de molibden. Coloanele de ghidare sunt prevăzute, din acest motiv, cu canale de ungere.

Din punct de vedere constructiv este de dorit ca sistemul de conducere şi centrare al matriţei să fie astfel plasat încât să permită folosirea optimă a spaţiului plăcilor de formare în vederea plasării cuiburilor matriţei, a circuitelor de răcire sau a sistemului de încălzire. Plasarea sistemului de ghidare se face la circumferinţa matriţei şi ţine seama de mărimea şi forma matriţei.

În cazul soluţiei constructive din *fig.6.119*, în funcţie de amplasarea sistemului de ghidare se amplasează şi poziţia ştifturilor de centrare şi a şuruburilor de prindere (*fig.6.120*).

Coloanele de ghidare se pot plasa fie în partea duzei, fie în partea aruncării, funcţie de sistemul de aruncare folosit. Se preferă alegerea coloanelor de ghidare în partea

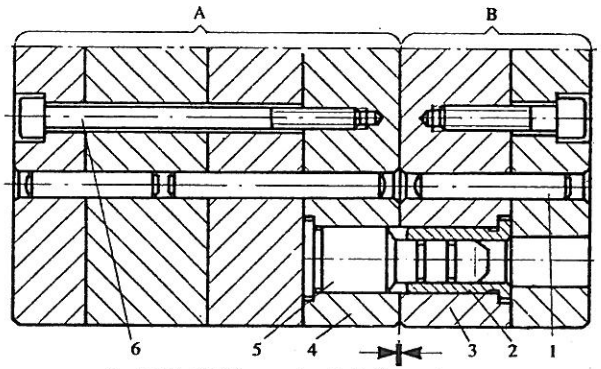


Fig.6.118. Soluţie constructivă de centrare:
1 - ştift de centrare; 2 - bucşă de ghidare; 3 - placă de formare;
4 - placă de formare; 5 - coloană de ghidare; 6 - şurub de prindere;
A - partea fixă a matriţei; B - partea mobilă a matriţei.

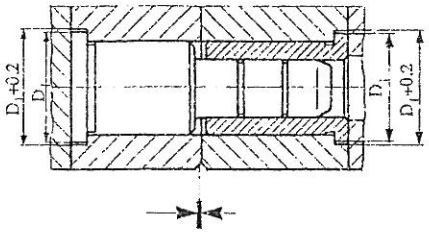


Fig.6.119. Centrare prin coloană și bucșă de ghidare.

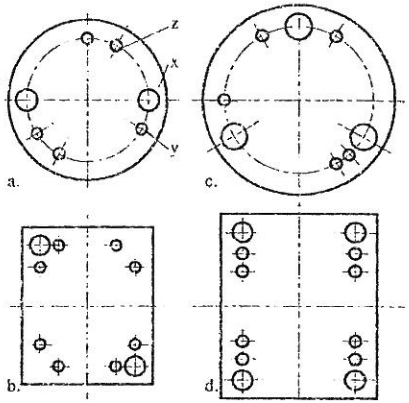


Fig.6.120. Poziționarea elementelor de centrare și fixare în plăcile matriței: x - gaură pentru coloană de ghidare; y - gaură pentru șurub; z - gaură pentru știft de centrare; a - matriță rotundă cu două coloane de ghidare; b - matriță dreptunghiulară cu două coloane de ghidare; c - matriță rotundă cu trei coloane de ghidare; d - matriță dreptunghiulară cu patru coloane de ghidare;

poansonului matriței, mai ales în cazul unor poansoane înalte coloanele de ghidare protejează poansonul la căderea accidentală a semimatriței sau în timpul depanării matriței.

O altă soluție constructivă folosită în conducerea și ghidarea matrițelor de injectat este cea folosită în *fig.6.121*. În acest caz conducerea și ghidarea matriței se realizează prin intermediul coloanei de ghidare *2* și a bucșei de ghidare *3*, centrarea plăcilor matriței cu ajutorul coloanei de ghidare *2*, a bucșei *3* și a tubului de centrare *4*, iar prinderea plăcilor prin intermediul șuruburilor *1*.

Față de soluția constructivă din *fig.6.119*, această soluție realizează pe aceeași axă atât conducerea și ghidarea matriței cât și centrarea plăcilor matriței. Se remarcă în acest caz construcția coloanei de ghidare *2* prevăzută cu un cep suplimentar de centrare și a tubului de centrare *4* al cărui diametru interior permite pătrunderea tijei coloanei de ghidare. Această soluție constructivă permite o folosire mai bună a spațiului plăcilor de formare a matriței în vederea amplasării cuibului, circuitelor de răcire, a sistemului de încălzire, etc.

Soluția constructivă din *fig.6.121* este mai scumpă decât soluția constructivă din *fig.6.119* și presupune execuția găurilor de centrare pentru întregul pachet pe o mașină de găurit în coordonate.

O altă soluție constructivă folosită pentru ghidarea și centrarea matriței este cea prevăzută în *fig.6.122*. În acest sistem constructiv, pe aceeași axă se realizează conducerea și ghidarea matriței, centrarea plăcilor matriței precum și prinderea plăcilor matriței. Soluția constructivă este mai scumpă față de soluțiile prezentate în *fig.6.119* și *fig.6.121*, însă permite folosirea la maximum a spațiului plăcii de formare în vederea amplasării cuibului, a circuitelor de răcire, a sistemului de încălzire, etc.

Soluții constructive asemănătoare sau puțin diferite sunt prezentate și în alte lucrări [1, 2, 19, 20, 21, 54, 55].

6.5.3. Alte elemente de centrare

În foarte multe cazuri pieselor injectate li se impun condiții severe:

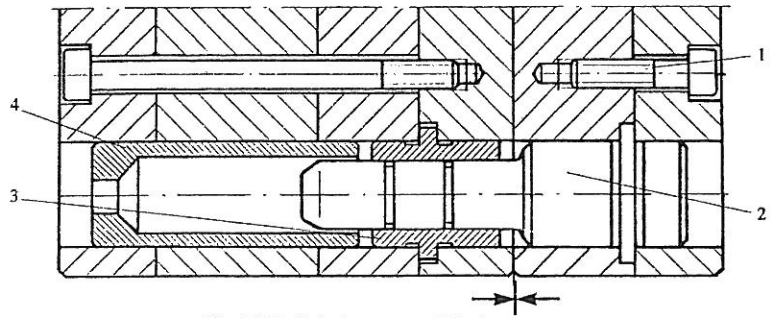


Fig.6.121. Soluție constructivă de centrare:
1 - șurub de prindere; 2 - coloană de ghidare; 3 - bucșă de ghidare; 4 - tub de centrare.

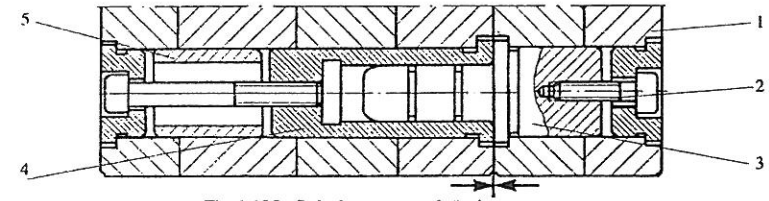


Fig.6.122. Soluție constructivă de centrare:
1 - element de fixare; 2 - șurub; 3 - coloană de ghidare; 4 - bucșă de ghidare; 5 - tub de centrare.

- linia de marcare a planului de separație a matriței cât mai discretă (obiecte de toaletă, monturi de periuțe de dinți, aparate electrocasnice, etc.);
- respectarea cu strictețe a uniformității pereților (la piesele injectate cu pereți subțiri, piesele care se asamblează, mecanisme de precizie, etc.).

În aceste cazuri centrarea și ghidarea realizată cu coloane și bucșe de ghidare se dovedește insuficientă, apelându-se la elemente de centrare și ghidare suplimentare (*fig.6.123* și *fig.6.124*).

În *fig.6.123* sunt prezentate două asamblări constructive cu centrare suplimentară prin con. Pentru a realiza centrarea, în ambele cazuri sunt prevăzute elemente corespunzătoare.

În *fig.6.124* este prezentată soluția constructivă care folosește un bolț de centrare, centrarea realizându-se în planul de separație al matriței. Bolțul de ajustare trebuie să fie astfel construit încât mijlocul să fie montat în planul de separație al matriței. La închiderea matriței de injectat, cu ajutorul bolțurilor se realizează centrarea suplimentară care rigidizează matrița.

Soluțiile constructive din *fig.6.123* și *fig.6.124* se aplică mai ales la matrițele pătrate și dreptunghiulare, realizându-se o centrare de mare precizie. În cazul matrițelor cu un singur cuib, de dimensiuni mari, cu adâncimea cuibului mare, se folosește un sistem de conducere și centrare suplimentar care asigură o rigidizare mai bună a matriței.

La matrițele de rotație simetrice se folosește o centrare conică numită centrare tip „oală" (*fig.6.125*). Soluția din *fig.6.125.b* prezintă avantajul față de soluția din *fig.6.125.a* pentru că folosește inelul de ajustare *4* care după un timp de folosire, datorită uzurii suprafețelor conice, poate fi înlocuit și ajustat din nou.

La matrițele dreptunghiulare de mari dimensiuni, centrarea suplimentară și rigidizarea se realizează folosind soluția constructivă din *fig.6.126*. În *fig.6.126.a* pentru

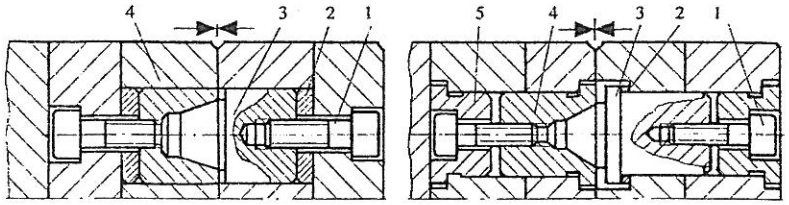


Fig.6.123. Elemente de centrare prin con:
1 - șurub de prindere; 2 - șaibă compensatoare; 3 - element de centrare;
4 - element de centrare; 5 - element de prindere.

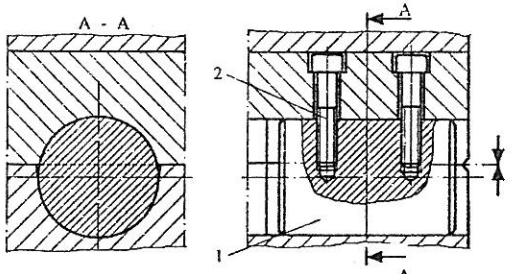


Fig.6.124. Soluție constructivă de centrare suplimentară:
1 - element de centrare; 2 - șurub.

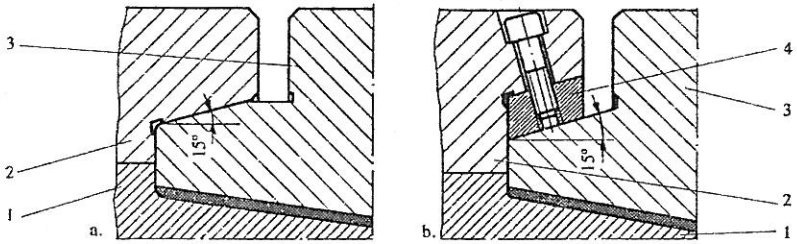


Fig.6.125. Soluție constructivă de centrare:
1 - poanson; 2 - placă portpoanson; 3 - placă de formare; 4 - placă de ajustare;
a - centrare directă; b - centrare cu placă de ajustare.

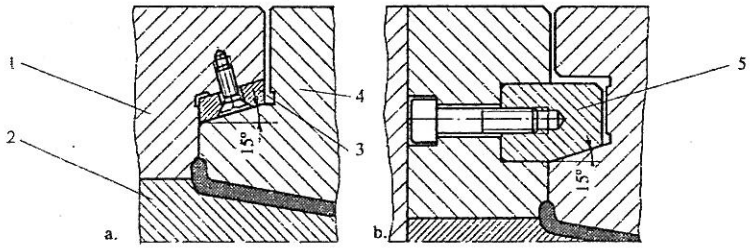


Fig.6.126. Soluție constructivă de centrare:
1 - placă portpoanson; 2 - poanson; 3 - placă de ajustare; 4 - placă de formare;
5 - prismă de ajustare.

ajustare se folosește o placă, iar în *fig.6.126.b*, o prismă. Ambele soluții constructive permit ca după un anumit grad de uzură a suprafețelor conice să se poată reface suprafețele de închidere.

6.6. Temperarea matrițelor

Stăpânirea procesului de prelucrare prin injectare a materialelor termoplastice presupune, pe lângă cunoașterea proprietăților materialelor și a procedeului în sine, și influența reciprocă a diferiților parametri.

Dintre factorii de influență ai procesului, temperatura matriței este unul dintre cei mai importanți.

Temperatura matriței, în general, trebuie să urmărească două cerințe principale:

- calitatea tehnică a piesei injectate ca funcție a uniformității distribuției temperaturii și a mărimii temperaturii matriței;
- cicluri de injectare cu durată economică ca urmare a evacuării rapide a căldurii din matriță.

Studiul detaliat al treptei de proces „răcire" în cadrul unui ciclu de injectare a fost studiat în capitolul 2.

6.6.1. Ecuația generală de bilanț termic

În capitolul 2 a fost studiat transferul de căldură la o matriță de injectat între materialul termoplastic, mediul de temperare, mediul înconjurător (aer) și mașina de injectat.

S-a dedus ecuația de bilanț (2.3) exemplificată cu *fig.2.20* din capitolul 2: $Q + Q_E + Q_T = 0$. Prin detalierea fiecărui termen al ecuației de bilanț există posibilitatea determinării practice a circuitului de răcire al unei matriței de injectat.

6.6.2. Transferul de căldură material plastic - matriță

Materialul plastic din cuibul matriței cedează în cursul unui ciclu de injectare, corpului matriței, cantitatea de căldură Q, care se calculează cu relația

$$Q = m(i_2 - i_1), \tag{6.73}$$

unde:

- m - masa piesei injectate, inclusiv rețeaua [kg];
- i_2 - entalpia materialului plastic la intrarea în matriță [kJ/kg];
- i_1 - entalpia materialului plastic la demulare [kJ/kg].

Entalpia materialului plastic se calculează cu relația

$$\Delta i = i_2 - i_1 = c_p(T_{Mp} - T_D), \tag{6.74}$$

unde:

- c_p - căldura specifică a materialului plastic;

- T_{Mp} - temperatura materialului în cuib;
- T_D - temperatura de demulare.

Căldurile specifice se scot din *tab.6.12* pentru diferite materiale, iar entalpia din *fig.6.127*.

Conducția în matriță. Cantitatea de căldură evacuată de piesă este preluată prin conducție de către matriță și transportată la mediul de temperare. Se consideră fenomenul de transfer conductiv staționar într-un perete plan omogen. Variația temperaturii între peretele găurii de temperare și mediul de temperare poate fi urmărită în *fig.6.128*.

Cantitatea de căldură Q se determină cu relația

$$Q = \frac{\lambda_M}{\delta} S(T_{pc} - T_{pT}), \tag{6.75}$$

unde:

- λ_M - conductibilitatea termică a matriței [W/m·K];
- δ - distanța canalului de temperare față de suprafața matriței [m];
- S - suprafața transversală activă a matriței [m^2];
- T_{pc} - temperatura medie la peretele cavității [°K];
- T_{pT} - temperatura medie la peretele canalului de temperare [°K].

Un rol foarte important la transferul termic conductiv din matriță îl are conductibilitatea termică a materialului matriței (*tab.6.6*).

6.6.3. Transferul de căldură între matriță și mediul de temperare

Transferul termic de la matriță (mediul solid) la mediul de temperare (mediul lichid) se face prin convecție și se poate exprima prin relația

$$Q = \alpha_T S_T (T_{pT} - T_T), \tag{6.76}$$

unde:

- α_T - coeficientul de transfer de căldură al mediului de temperare [W/m^2·K];
- S_T - suprafața activă a canalelor de temperare [m^2];
- T_{pT} - temperatura la perete a canalului de temperare [°K];
- T_T - temperatura mediului de temperare [°K].

Eficacitatea unui sistem de temperare este determinată de regimul de curgere prin canale a mediului de temperare.

Pentru curgere laminară ($R_e < 2500$), coeficientul de transfer de căldură se calculează cu relația

$$\alpha_T = \frac{\lambda}{d_c}\left[3{,}65 + \frac{0{,}0668\, P_e \frac{d_c}{L_c}}{1 + 0{,}045 (P_e \frac{d_c}{L_c})^{2/3}}\right], \tag{6.77}$$

unde:

- d_c - diametrul canalului de temperare [m];
- L_c - lungimea canalului de temperare [m].

Criteriul lui Peclet se calculează cu relația

$$P_e = R_e \cdot P_r, \tag{6.78}$$

unde:

- R_e - numărul lui Reynolds;
- P_r - numărul lui Prandl.

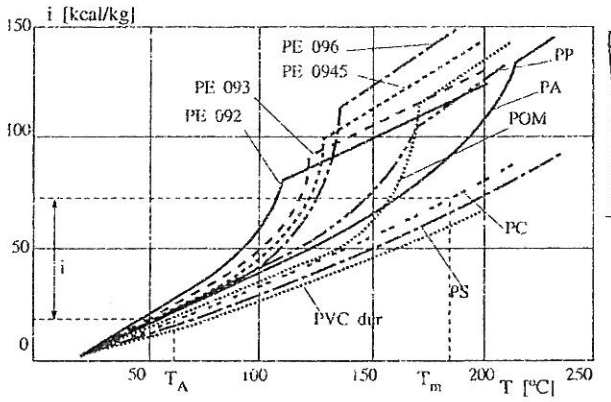


Fig.6.127. Entalpia materialelor plastice.

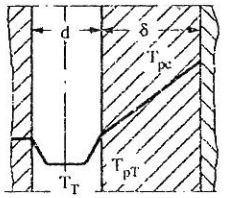


Fig.6.128. Variația temperaturii matriței în zona canalului de temperare:
d - diametrul canalului de temperare;
δ - distanța dintre peretele matriței și peretele canalului.

Tab.6.12. **Călduri specifice și cantități de căldură eliberate de diferite materiale plastice.**

Material	Căldura specifică [kcal/kg°C]	Cantitatea de căldură eliberată [kcal/kg]
Polipropilenă	0,70	35
Poliformaldehidă	-	50
Polimetacrilat de metil	0,55	0
Policarbonat	0,55	32
PVC dur	0,40	0
PVC moale	0,60	0

Pentru criteriul lui Peclet se dă și relația

$$P_e = \frac{w_T d_c c_p \rho_T}{\lambda_T}, \tag{6.79}$$

unde:

- w_T - viteza medie de temperare [m/s];
- c_p - căldura specifică a mediului de temperare [kJ/kgK];
- ρ_T - densitatea mediului de temperare [kg/m^3];
- λ_T - conductibilitatea termică a mediului de temperare [W/m·K].

Pentru curgere turbulentă ($R_e > 3500$), coeficientul de transfer de căldură se calculează cu relația

$$\alpha_T = 0{,}04 (P_e)^{0.75} \frac{\lambda_T}{d_c}. \tag{6.80}$$

Prin calculul numărului lui Reynolds se poate stabili natura regimului de curgere

$$R_e = \frac{w_T d_c}{\nu_T}, \tag{6.81}$$

unde ν_T este vâscozitatea cinematică a mediului de temperare.

Din relația (6.77) se trage concluzia că coeficientul de transfer de căldură la curgerea laminară scade cu creșterea lungimii canalelor de temperare. Din acest motiv canalele de temperare sunt amplasate în direcția de curgere a materialului.

6.6.4. Transferul de căldură în interiorul matriței

Transferul termic în interiorul matriței se realizează în două moduri:
- prin convecție, către platourile de prindere ale mașinii;
- prin radiație, în aer.

Cantitatea de căldură Q_E dintre matriță și mediul înconjurător (platourile mașinii și aer) se scrie

$$Q_E = Q_c + Q_R, \tag{6.82}$$

unde:
- Q_c - pierderi de căldură prin convecție;
- Q_R - pierderi de căldură prin radiație.

Datorită faptului că pierderile de căldură prin convecție sunt nesemnificative chiar la temperaturi ridicate ale matriței (T_M = 100...140°C), ele pot fi neglijate, $Q_c = 0$.

Relația (6.82) devine

$$Q_E = Q_R. \tag{6.83}$$

Transferul termic prin radiație de la matriță către exterior se calculează cu relația

$$Q_R = S_M e C_0 (\frac{T_{Ms}}{100})^4, \tag{6.84}$$

unde:
- S_M - suprafața liberă a matriței în contact cu aerul înconjurător [m^2];
- e - coeficientul de emisie [m^2];
- C_0 - constanta lui Stefan-Boltzman [W/m^{2}K^4];
- T_{MS} - temperatura la suprafața unei matrițe [K].

Se dau următoarele valori: C_0 = 5.76 W/m^{2}K^4. Valorile pentru e se determină din *tab.6.7*. Relația (6.84) nu ia în considerare reflexia căldurii corpurilor din vecinătate, precum și emisia căldurii prin radiație pe suprafețele planului de deschidere al matriței.

Pierderile de căldură în exteriorul matriței pot fi îmbunătățite prin următoarele măsuri [8]:
- utilizarea de matrițe cu suprafețe lustruite;
- folosirea de plăci de izolare între matriță și platourile de prindere ale mașinii.

6.6.5. Determinarea timpului de răcire în matriță

6.6.5.1. Determinarea timpului de răcire folosind nomograme

Reducerea timpului de răcire duce implicit la reducerea duratei totale a ciclului de injectare (cap.6.6.1). Există posibilitatea deducerii teoretice a timpului de răcire, analizând transferul termic al unei piese injectate în formă de placă [19, 38, 39, 43].

Astfel se obțin relațiile

$$t_r = \frac{S^2}{\pi^2 a} ln(\frac{4}{\pi} \frac{T_0 - T_M}{T_p - T_M}), \tag{6.85}$$

$$t_r = \frac{S^2}{\pi^2 a} ln(\frac{8}{\pi^2} \frac{T_0 - T_M}{T_A - T_M}), \tag{6.86}$$

unde:
- a - difuzivitatea termică [m^2/s];
- S - grosimea plăcii din material plastic [m];
- T_0 - temperatura inițială de prelucrare a materialului plastic [°K];
- T_M - temperatura medie a matriței [°K];
- T_P - temperatura maximă în mijlocul piesei injectate la aruncare [°K];
- T_A - temperatura medie la aruncarea din matriță a piesei injectate [°K].

Difuzivitatea termică are expresia

$$a = \frac{\lambda}{c_p \rho}, \tag{6.87}$$

unde:
- λ - coeficientul de conductivitate termică [W/m·K];
- c_p - căldura specifică la presiune constantă [J/kg·K];
- ρ - densitatea [kg/m^3].

Pentru diferite tipuri de forme de injectare în domeniul $4 \le (T_0-T_M) / (T_p-T_M) \le 100$ valorile timpului de răcire pot fi urmărite în *tab.6.13* [38, 39].

Prima metodă. Timpul de răcire pentru o piesă injectată se poate determina ușor folosind nomograma din *fig.6.129* care se bazează pe relațiile (6.85) și (6.86) [19, 43]. În *fig.6.129* se prezintă și un exemplu practic de determinare a timpului de răcire la o piesă injectată.

Valorile coeficientului de difuzivitate termică pentru diferite materiale termoplastice se găsesc în *tab.6.14* [38].

A doua metodă. Pentru determinarea timpului de răcire se folosește tot relația (6.85). În [40] se determină nomograma pentru determinarea timpului de răcire la diferite materiale termoplastice, în funcție de grosimea de perete a piesei injectate (*fig.6.130*). Pentru determinarea timpului de răcire se procedează în felul următor:
- se determină raportul $(T_p-T_M)/(T_0-T_M)$

unde:
- T_p - temperatura maximă în mijlocul piesei injectate la aruncare;
- T_M - temperatura medie a peretelui matriței;
- T_0 - temperatura inițială de prelucrare a materialului plastic.

- cunoscând raportul $(T_p-T_M)/(T_0-T_M)$ și grosimea de perete a piesei injectate, se calculează timpul de răcire din diagramele din *fig.6.130*.

6.6.5.2. Determinarea prin calcul a timpului de răcire

Pentru materialele termoplastice cu grosimi $s < 5$ mm, se oferă în [40] următoarea relație

$$t_r = \frac{As^2}{4a}, \tag{6.88}$$

unde:
- A - coeficient;
- S - grosimea peretelui piesei injectate [c];
- a - coeficient de difuzivitate termică [cm^2/s].

Coeficientul A se determină în funcție de raportul $(T_p-T_M)/(T_0-T_M)$ în *tab.6.15*.

Tab.6.13. Timpul de răcire pentru diferite forme geometrice injectate.

Formă	Dimensiuni	Timpul de răcire t_r	t_r/t_r placă	Eroare relativă [%] pt $(T_0-T_M)/(T_p-T_M)$		Eroare relativă=0 $(T_0-T_M)/(T_p-T_M)$
				4	100	
placă	grosime s	$\frac{S^2}{\pi^2 a} \ln\left(\frac{4}{\pi}\frac{T_0-T_M}{T_p-T_M}\right)$	1	-	-	-
cilindru	diametru d lungime	$\frac{d^2}{23,14a} \ln\left(1,599\frac{T_0-T_M}{T_p-T_M}\right)$	$0,465\left(\frac{d^2}{s}\right)^2$	+3,7	-4,6	10
con	diametru d	$\frac{d^2}{4\pi^2 a} \ln\left(2\frac{T_0-T_M}{T_p-T_M}\right)$	$0,250\left(\frac{d^2}{s}\right)^2$	+7,6	-8,4	9
paralelipiped	lățime l înălțime h lungime L	$\frac{1}{\left(\frac{1}{l^2}+\frac{1}{h^2}\right)\pi^2 a} \ln\left(\frac{16}{\pi^2}\frac{T_0-T_M}{T_p-T_M}\right)$	$\frac{1,10}{1+\left(\frac{l}{s}\right)^2}$	+4,6	-4,6	10
cilindru	diametru d lungime	$\frac{1}{\left(\frac{23,14}{d^2}+\frac{\pi^2}{L^2}\right)a} \ln\left(\frac{6,396}{\pi}\frac{T_0-T_M}{T_p-T_M}\right)$	$\frac{1,20}{\frac{23,14}{\pi^2}\left(\frac{s}{d}\right)^2+\left(\frac{s}{L}\right)^2}$	+7,5	-8,3	9
paralelipiped	lățime l înălțime h lungime L	$\frac{1}{\left(\frac{1}{l^2}+\frac{1}{h^2}+\frac{1}{L^2}\right)\pi^2 a} \ln\left(\frac{64}{\pi^3}\frac{T_0-T_M}{T_p-T_M}\right)$	$\frac{1,20}{\left(\frac{1}{l^2}+\frac{1}{h^2}+\frac{1}{L^2}\right)S^2}$	+8,3	-8,3	9
cub	latura h	$\frac{h^2}{3\pi^2 a} \ln\left(\frac{64}{\pi^3}\frac{T_0-T_M}{T_p-T_M}\right)$	$0,40\left(\frac{h}{s}\right)^2$	+8,3	-8,3	9

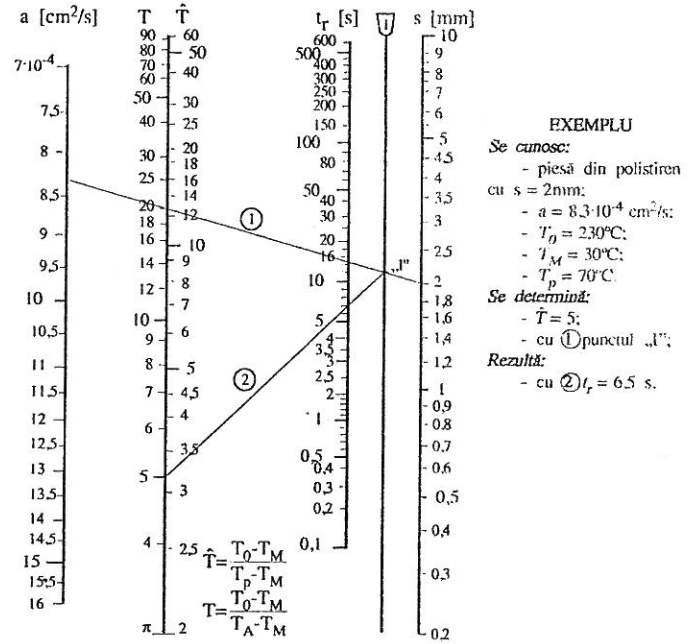


Fig.6.129. Nomogramă pentru determinarea timpului de răcire.

Tab.6.14. **Coeficientul de difuzivitate termică pentru diferite materiale termoplastice.**

Material termoplastic	Coeficient de difuzivitate termică [cm²/s]
Polietilenă de înaltă densitate	$7,7\cdot10^{-4}$
Polietilenă de joasă densitate	$7,4\cdot10^{-4}$
Polipropilenă	$7,6\cdot10^{-4}$
Polistiren	$8,3\cdot10^{-4}$
Policlorură de vinil	$4,8\cdot10^{-4}$

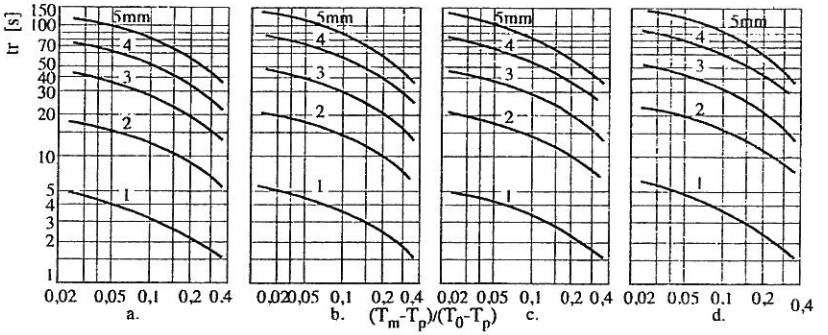


Fig.6.130. Nomograme pentru determinarea timpului de răcire:
a - polistiren; b - polietilenă de înaltă densitate; c - polietilenă de joasă densitate; d - poliamidă.

Tab.6.15. Determinarea valorii coeficientului *A*.

$(T_p-T_M)/(T_0-T_M)$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
A	1,00	0,95	0,78	0,61	0,50	0,39	0,30

6.6.6. Amplasarea și dimensionarea practică a sistemelor de temperare a matriței

6.6.6.1 Dimensionarea sistemului de temperare

Problema practică a dimensionării răcirii matrițelor de injectat este tratată în multe lucrări de specialitate [50. 20, 21, 53].

Unele lucrări determină prin calcul lungimea sau diametrul canalelor de răcire; altele determină temperaturile medii și debitele fluidelor de temperare.

Se prezintă în cele ce urmează mai multe variante de calcul.

Calculul simplificat al lungimii canalelor de răcire. Se calculează cantitatea de căldură cedată de o piesă injectată matriței cu formula

$$Q = \frac{3600}{t_T} m(i_2 - i_1), \tag{6.89}$$

unde:

- t_T - durata ciclului de injectare [s];
- m - masa piesei injectate [kg];
- i_2 - entalpia materialului plastic la intrare în matriță [kJ/kg];
- i_1 - entalpia materialului plastic la demulare [kJ/kg].

Entalpiile pentru diferite materiale plastice și diferite temperaturi se scot din diagrama prezentată *fig.6.127.*

Se neglijează pierderile matriței în exterior, prin convecție și radiație. Cantitatea de căldură se consideră, în acest caz, în totalitate evacuată prin circuitul de temperare. Se scrie

$$Q = kS(T_2 - T_1) \quad [W], \tag{6.90}$$

unde:

- S - suprafața canalelor de temperare [m²];
- T_2 - temperatura materialului la injectare [°C];
- T_1 - temperatura mediului de temperare [°C];
- k - coeficient global de schimb de căldură [kJ/m²h°C].

Coeficientul de transmisie se calculează cu relația

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda}, \tag{6.91}$$

unde:

- δ - distanța dintre piesă și canalul de răcire [m];
- α - coeficientul de convecție a fluidului [kJ/mh°C];
- λ - coeficientul de conductibilitate termică a materialului matriței [kJ/mh°C].

Coeficientul de conductibilitate termică pentru diferite materiale se obține din *tab.6.6.*

Coeficientul de transmisie a circuitului de temperare se calculează cu formula

$$\alpha = 19{,}37 + 0{,}27 T_i \dot{V}_T^{0,95} \quad [kJ/mh°C], \tag{6.92}$$

unde:

- T_i - temperatura la intrare în circuitul de temperare [°C];
- $\dot{V}_T$ - debitul circuitului de temperare [kg/cm²h];
- ρ - densitatea lichidului de răcire [kg/m³].

Debitul se calculează cu formula

$$\dot{V}_T = 10^{-4} w\rho \quad [kg/m^2h], \tag{6.93}$$

Se folosește viteza de circulație a fluidului în canale $w \geq 2300$ m/h.

Lungimea canalelor se calculează cu formula

$$l = Q \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda}}{\pi d_c (T_2 - T_1)} \quad [m], \tag{6.94}$$

unde d_c este diametrul canalului de temperare ales [m].

În cazul în care nu poate fi practic realizat în matriță lungimea circuitului se alege un diametru de canal mai mare.

Calculul lungimii canalelor de răcire folosind nomograme [40]. În lucrarea [40] autorii propun determinarea lungimii canalelor o nomogramă care pornește de la calculul suprafeței de temperare în matrița de injectat. Calculul este valabil pentru răcirea pieselor injectate din polietilenă de joasă densitate și înaltă densitate, polistiren și poliamidă. Calculul se pornește de la ideea că transferul se face în matriță cu o aproximație de 10% astfel încât

$$Q_1 = Q_2 = Q_3, \tag{6.95}$$

unde:

- Q_1 - cantitatea de căldură cedată de piesa injectată matriței;
- Q_2 - cantitatea de căldură preluată de matriță și trimisă, prin convecție, peretelui temperat al matriței;
- Q_3 - cantitatea de căldură evacuată prin circuitul de temperare.

Cantitatea de căldură Q_1 se calculează cu relația

$$Q_1 = \dot{V} c_p \Delta T_M + \dot{V} c_M \quad [kcal/h], \tag{6.96}$$

unde:

- $\dot{V}$ - cantitatea de material plastic injectată pe oră [kg/h];
- c_p - căldura specifică a materialului plastic (valoarea medie) [kcal/kg];
- ΔT_M - diferența de temperatură între temperatura de prelucrare și temperatura de la eliminarea piesei injectate [°C];
- c_M - căldura materialului eliberată în procesul de solidificare [kcal/kg].

Diferența de temperatură are expresia

$$\Delta T_M = T_0 - T_p, \tag{6.97}$$

unde:

- T_0 - temperatura de prelucrare a materialului plastic [°C];
- T_p - temperatura maximă în mijlocul piesei la aruncare [°C].

Căldura c_M eliberată în procesul de solidificare, precum și căldura specifică pentru diferite materiale sunt prezentate în *tab.6.12.*

Cantitatea de căldură Q_2 se calculează cu relația

$$Q_2 = \alpha S(T_{pT} - T_T) \quad [kcal/h], \tag{6.98}$$

unde:

- α - coeficientul de transfer de căldură al mediului de temperare între peretele canalului și mediul de temperare;
- S - suprafața canalelor de temperare [m²];
- T_{pT} - temperatura peretelui canalului de temperare [°C];

- T_T - temperatura medie a agentului de temperare [°C].

Se scrie

$$T_{pT} = \frac{T_m + T_T}{2} \quad [°C], \tag{6.99}$$

$$T_T = \frac{T_{TE} + T_{Ti}}{2} \quad [°C], \tag{6.100}$$

unde:

- T_{TE} - temperatura mediului de temperare la ieșire [°C];
- T_{Ti} - temperatura mediului de temperare la intrare [°C];
- T_M - temperatura matriței [°C].

Coeficientul de transfer de căldură se calculează cu relația

$$\alpha = 2900 w^{0,85}(1 + 0,014 T_m) \quad [kcal/m^2 h°C], \tag{6.101}$$

unde w este viteza mediului de temperare [m/s].

Cantitatea de căldură Q_3 preluată de mediul de temperare se calculează cu relația

$$Q_3 = \dot{V}_T c(T_{TE} - T_{TI}) \quad [kcal/h], \tag{6.102}$$

unde:

- V_T - debitul orar al mediului de răcire [kg/h];
- c - căldura specifică a mediului de răcire [kcal/kg°C];
- T_{TE} - temperatura mediului de temperare la ieșirea din matriță [°C];
- T_{TI} - temperatura mediului de temperare la intrarea în matriță [°C].

Debitul orar al mediului de răcire se calculează cu relația

$$\dot{V}_T = 3600 S_1 w \rho \quad [kg/h], \tag{6.103}$$

unde:

- S_1 - secțiunea de curgere a mediului de temperare [m^2];
- w - viteza mediului de temperare [m/s];
- ρ - densitatea mediului de temperare [kg/dm^3].

Viteza mediului de temperare se alege maximum $w = 1$ m/s, iar diametrele canalelor de temperare $d = 6; 8; 10; 16; 21; 24; 30$.

În *tab.6.16* se dă corespondența între debitul de temperare și diametru la viteze de curgere $w = 1$ m/s.

Pentru calculul practic al lungimii canalelor de răcire se procedează în felul următor:

- se determină timpul total al unui ciclu de injectare, folosind relația (2.12) (capitolul 2);
- timpul de umplere și timpul de demulare sunt cunoscute;
- timpul de răcire se calculează utilizând nomogramele prezentate în *fig.6.130*;
- se determină cantitatea de material injectată pe oră $\dot{V}$;
- se determină cantitatea de căldură $Q_1 = Q_2$ pentru un anumit $\dot{V}$ și o anumită diferență de temperatură ΔT_M folosind diagramele din *fig.6.131*, *fig.6.132* și *fig.6.133* (partea stângă);

$$\Delta T_M = T_M - T_D, \tag{6.104}$$

Tab.6.16. Determinarea diametrului d_c în funcție de debitul mediului de temperare.

Mărimea	Determinarea diametrului						
Debitul mediului $\dot{V}_T$ [kg/h]	200	380	560	1400	2300	3200	5000
Diametrul canalului d_c [mm]	6	8	10	16	21	24	30

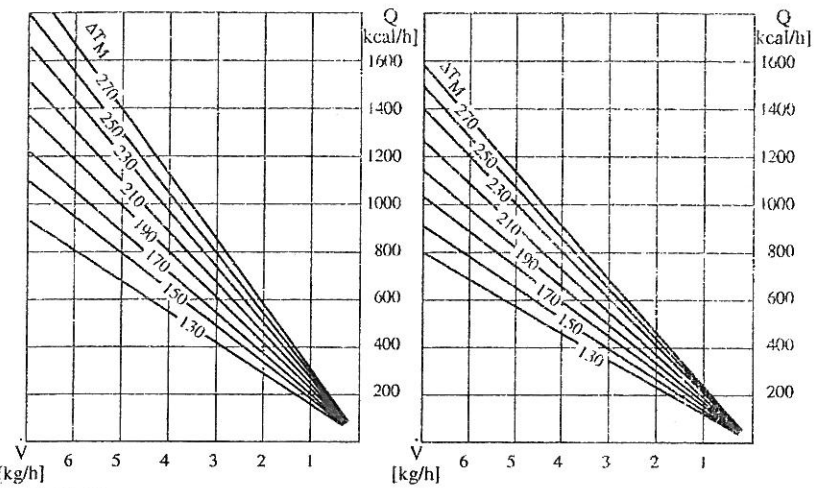


Fig.6.131. Nomogramă pentru determinarea cantității de căldură în matriță la temperare pentru poliamidă.

Fig.6.132. Nomogramă pentru determinarea cantității de căldură în matriță la temperare pentru polietilenă de joasă densitate.

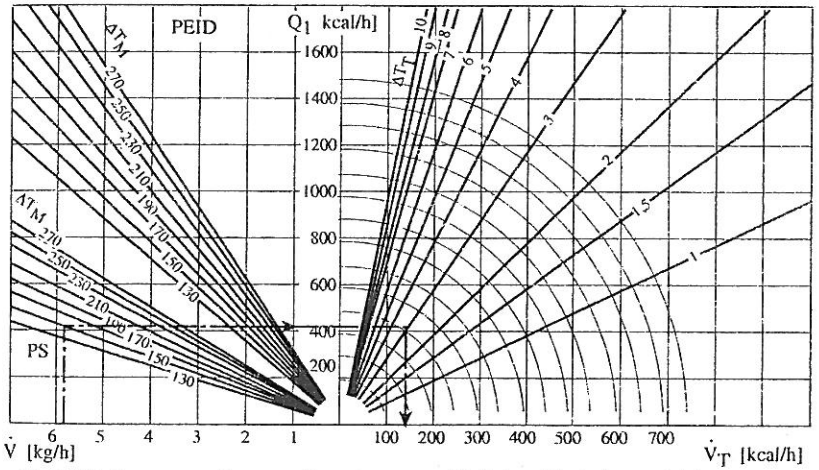


Fig.6.133. Nomogramă pentru determinarea cantității de căldură în matriță la temperare pentru polietilenă de înaltă densitate.

- se determină debitul orar al mediului de temperare $\dot{V}_T$ folosind *fig.6.133* (partea dreaptă) în funcție de cantitatea de căldură;
- se alege diametrul canalului de temperare d_c în funcție de $\dot{V}_T$ cunoscut din *tab.6.16*;
- se determină suprafața de răcire S în funcție de cantitatea de căldură Q din diagrama prezentată în *fig.6.134* (partea stângă).

Diagrama dă soluții pentru două viteze la curgerea mediului de temperare prin canal

($w = 0,8$ m/s și $w = 1$ m/s).

În diagramă sunt introduse valorile ΔT_R

$$\Delta T_R = T_{PT} - T_T, \qquad (6.105)$$

unde T_{PT} și T_T se calculează cu relațiile (6.99) și (6.100).

- se determină lungimea L a canalelor în funcție de suprafața de temperare S și ΔT_R din diagrama prezentată în *fig.6.134* (partea dreaptă).

6.6.6.2. Amplasarea sistemelor de temperare în matriță

Pentru obținerea unor piese de precizie, proiectantul de matriță trebuie să acorde o atenție deosebită amplasării canalelor de temperare în raport cu piesa și între ele, în raport cu punctele de injectare, în funcție de sensul de umplere al cuibului, etc.

La proiectarea dimensionării și amplasării sistemului de temperare trebuie să se țină seama de următoarele principii:

- temperarea uniformă a întregii suprafețe a cuibului matriței;
- amplasarea canalelor în lungul drumului de curgere al materialului plastic în matriță;
- numărul schimbărilor de direcție al circuitului de răcire să fie cât mai mic;
- asigurarea etanșeității circuitelor de temperare.

Soluții constructive de amplasare a canalelor de temperare sunt prezentate în mai multe lucrări [2, 3, 38, 49, 51].

6.6.6.2.1. Temperarea suprafețelor

Din punct de vedere fizic, temperarea cea mai bună ar fi dacă lățimea canalului de temperare ar fi egală cu lățimea piesei injectate (*fig.6.135*). Considerente de rigiditate,

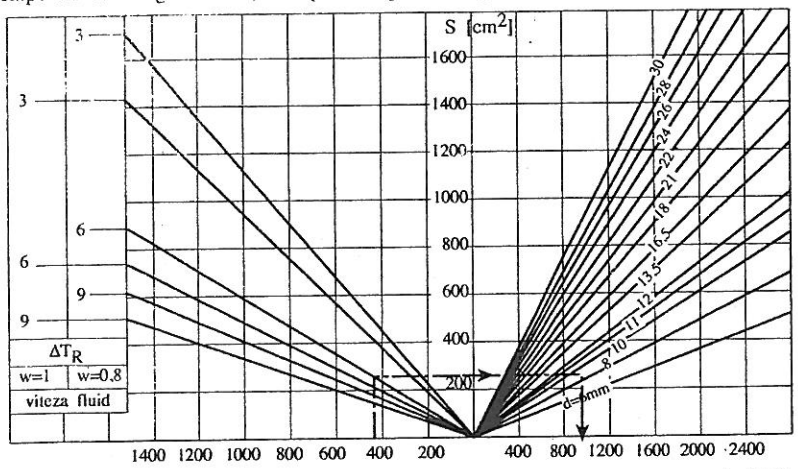


Fig.6.134. Diagramă pentru determinarea duprafeței de temperare S și a lungimii canalului de temperare L.

datorită presiunilor de injectare mari, a determinat înlocuirea soluției fizice ideale cu soluția tehnică optimală. Canalele de secțiune pătrată, având pereți între ele, realizează răcirea.

În practică, soluția cea mai folosită, datorită facilităților în execuție a canalelor, este soluția de temperare prin canale circulare executate prin găurire (*fig.6.136*). Se recomandă în acest caz $h_1 = (2...3)\ d_c$, $l = \max 3d_c$.

În *tab.6.17* sunt prezentate dimensiunile canalelor circulare, amplasarea lor în raport cu piesa injectată. Această amplasare ia în considerare, din punct de vedere a rigidității, nu numai găurile canalelor dar și practicarea altor orificii necesare matriței (duză de injectare, bucșă centrală, bucșe de ghidare, etc.)

6.6.6.2.2. Temperarea plăcilor

Dintre plăcile matriței de injectat trebuie prevăzute cu răcire, în general, placa de formare și placa portpoanson. Aceaste plăci, în funcție de forma piesei injectate și în funcție de forma constructivă a matriței, pot fi circulare, pătrate sau dreptunghiulare.

Tab.6.17. Dimensiuni la amplasarea canalelor de răcire.

Grosime de perete S [mm]	h_1 [mm]	l_T [mm]	d_c [mm]
0...1	11.3...15,0	10...13	4,5...6.0
1...2	15...21	13...19	6,0...8.5
2...4	21...27	19...23	8,5...11
4...6	27...35	23,0...30.5	11...14
6...8	35...50	30.5...40.0	14...18

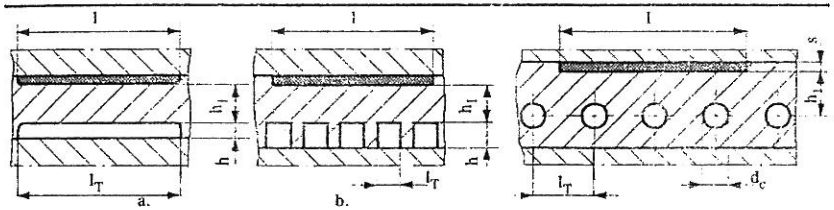


Fig.6.135. Canale de răcire: a - ideale din punct de vedere fizic; b - optime din punct de vedere tehnic.

Fig.6.136. Canale de temperare realizate prin găurire.

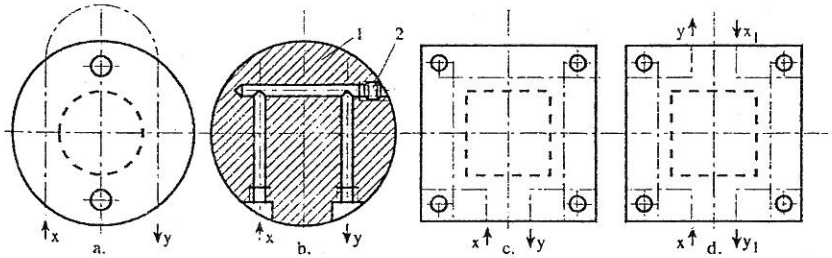


Fig.6.137. Temperarea plăcilor:
a - canale simple cu legături exterioare; b - canale cu legătură interioară; c - rețea cu intrarea și ieșirea apei de aceeași parte a matriței; d - rețea cu intrarea și ieșirea apei separate; x, y - intrarea și ieșirea mediului de temperare; 1 - placă; 2 - dop filetat.

Circuitul de răcire cel mai frecvent utilizat pentru răcirea plăcii de formare se realizează prin canale rectilinii, legătura dintre canalele de răcire asigurându-se fie prin intermediul unor canale suplimentare practicate în plăcile matriței, sau printr-o legătură exterioară cu tuburi de cauciuc (*fig.6.137*). Acest sistem de răcire se aplică atât la matrițele de injectat cu un singur cuib, cât și la cele cu mai multe cuiburi la care cuibul este realizat direct în placa de formare. La această soluție însă, repartizarea temperaturii, de regulă, nu este uniformă pe toată suprafața piesei si în consecință răcirea piesei nu este uniformă.

Experiența a dovedit că, la amplasarea canalelor de răcire în matriță, trebuie să se țină cont și de transferul local de căldură, răcirea trebuind să fie mai intensă în zonele cu temperatură mai ridicată. În *fig.6.138* sunt prezentate astfel de soluții. În *fig.6.138.b* se prezintă sistemul cel mai eficace de răcire pentru piese simetrice. În acest caz, apa

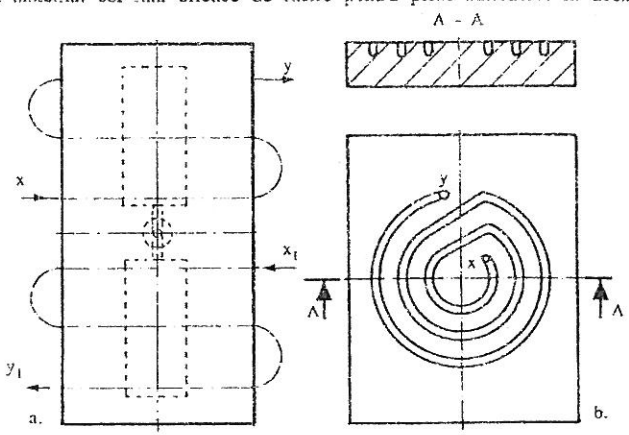


Fig.6.138. Temperarea plăcilor:
a - răcirea unei matrițe cu două cuiburi; b - răcirea unei matrițe cu un cuib;
x, y - intrarea și ieșirea mediului de temperare.

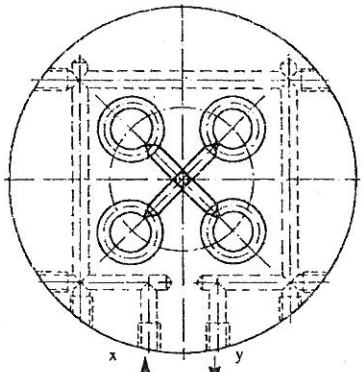


Fig.6.139. Temperarea unei plăci portpoanson:
x, y - intrarea și ieșirea mediului de temperare.

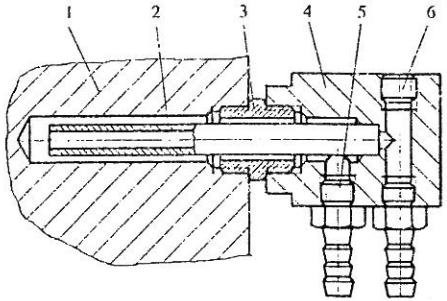


Fig.6.140. Temperarea prin „deget de răcire":
1 - placă de formare; 2 - țeavă; 3 - racord;
4 - distribuitor; 5 - racord; 6 - dop filetat.

de răcire pătrunde înzona centrală și curge spre periferia piesei injectate printr-un canal frezat în formă de spirală în placa de formare a matriței.

Circuitele de răcire ale plăcilor portpoanson se asigură, de regulă, prin canale rectilinii care ocolesc poansoanele (răcirea poansonului se face separat). Aceeași soluție se aplică și în cazul plăcilor de formare cu mai multe cuiburi realizate în pastile, în care caz, circuitul de răcire realizat în placa de formare trebuie să ocolească pastilele (*fig.6.139*).

În multe cazuri, la matrițele de injectat cu mai multe cuiburi, amplasarea rațională a canalelor de temperare nu este posibilă datorită obstacolelor din placa de formare sau placa portpoanson (poansoane, pastile, coloane, bucșe de ghidare, etc.). În asemenea cazuri se poate recurge cu foarte bune rezultate la folosirea așa numitelor „degete de răcire" (*fig.6.140*).

Există cazuri în care placa portpoanson face corp comun cu poansonul. În aceste cazuri, canalele care realizează circuitul de temperare în placă sunt prea îndepărtate de piesă, și în consecință, eficacitatea răcirii scade. În *fig.6.141* sunt prezentate schematic două soluții constructive pentru răcirea plăcii portpoanson. În varianta din *fig.6.141.a* răcirea se face în serie, iar în varianta din *fig.6.141.b*, în paralel. Răcirea în paralel este mai eficientă decât răcirea în serie.

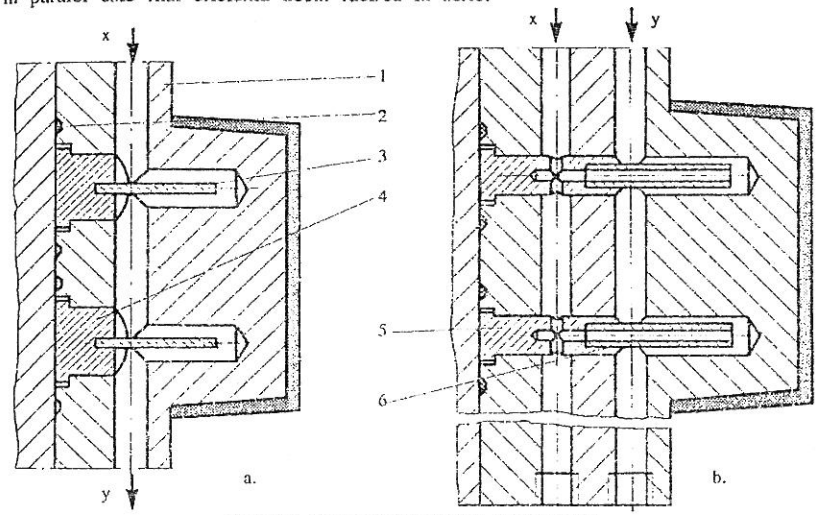


Fig.6.141. Temperarea plăcilor portpoanson:
1 - placă portpoanson, 2 - garnitură; 3 - șicană; 4 - suport; 5 - suport distribuitor; 6 - țeavă;
x, y - intrare și ieșire mediu de temperare.

6.6.6.2.3. Temperarea poansoanelor

Temperarea poansoanelor lungi cu diametre mici sau laturi mici ridică probleme. Pe poanson se injectează material plastic care transferă căldură poansonului. O temperare necorespunzătoare a poansonului determină cicluri de injectare lungi și deformări ale poansonului.

Poansoane cu diametre sau lățimi d ≥ 3 mm. Datorită diametrului foarte mic al poansonului, ca element de temperare se folosește aerul (*fig.6.142*). Aerul de răcire circulă printr-o gaură plasată central în poansoane în timpul duratei de răcire a ciclului de

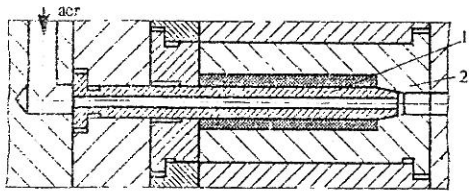


Fig.6.142. Poanson temperat cu aer (d ≥ 3 mm): 1 - poanson; 2 - pastilă.

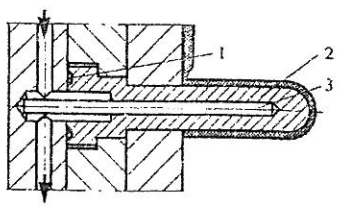


Fig.6.143. Temperarea poansoanelor (d ≥ 5 mm): 1 - poanson; 2 - poanson; 3 - bară de cupru.

injectare. Dacă răcirea nu este suficientă se folosește aerul pentru răcire toată durata ciclului de injectare.

Poansoane cu diametre sau lățimi d ≥ 5 mm. La acest tip de poansoane se folosește proprietatea de bună conductibilitate termică a cuprului și aliajelor sale. În orificiul central al poansonului, orificiu înfundat, este amplasat un știft de cupru care este scufundat cu un cap în mediul de temperare ce circulă printr-un canal. Căldura preluată de la piesa injectată este transferată poansonului, barei de cupru care apoi o transferă mediului de temperare (*fig.6.143*).

Poansoane cu diametre sau lățimi d ≥ 8 mm. La acest tip de poanson se recomandă soluția de temperare prezentată în *fig.6.144*. Mediul de temperare pătrunde prin teavă, ajunge în vârful poansonului și se scurge prin exteriorul țevii realizând răcirea poansonului. Țevile pentru dirijarea mediului de temperare pot avea gaura interioară până la un diametru de 1,5 mm.

La diametre interioare ale țevii de temperare de până la 4 mm, în cazul folosirii uleiului la temperare, se realizează o teșire a țevii pentru creșterea secțiunii de evacuare (*fig.6.145.a*). Există posibilitatea realizării într-un poanson a unei răciri interne prin creșterea suprafeței de răcire în orificiul interior al poansonului (*fig.6.145.b*). Prin montarea în orificiul interior al poansonului a unei lamele, se poate realiza un circuit de temperare corespunzător (*fig.6.145.c*).

Pentru intensificarea transferului termic din anumite zone (în apropierea locului de injectare) există posibilitatea montării unor dopuri din alamă care au o conductivitate termică mare.

Pentru poansoanele cu secțiune dreptunghiulară se poate aplica soluția constructivă din *fig.6.146*. Circuitul de temperare se realizează cu ajutorul a două orificii care se întâlnesc oblic spre vârful poansonului. Soluția este mai puțin recomandată pentru poansoanele cilindrice ca urmare a transferului termic neuniform.

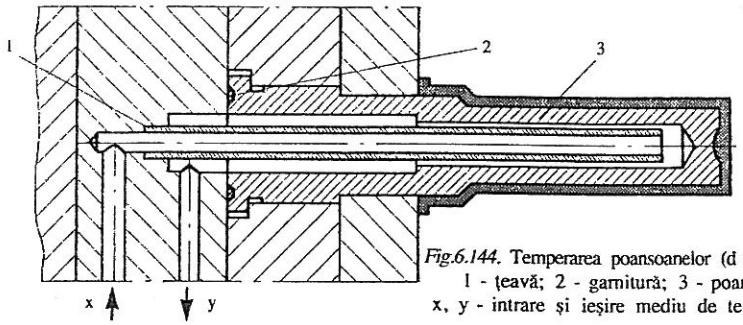


Fig.6.144. Temperarea poansoanelor (d ≥ 8 mm): 1 - țeavă; 2 - garnitură; 3 - poanson; x, y - intrare și ieșire mediu de temperare.

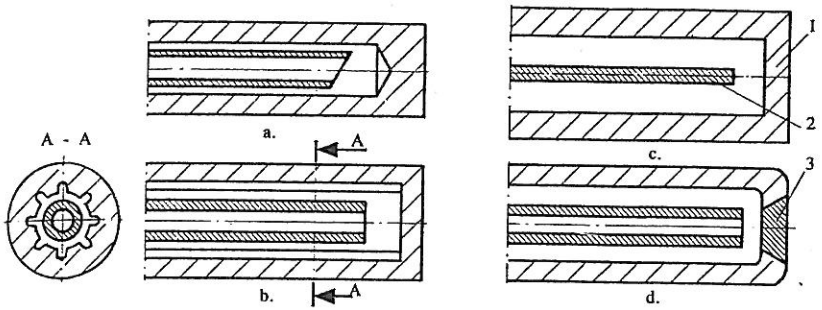


Fig.6.145. Temperarea poansoanelor (d ≥ 8 mm): a - cu țeavă teșită; b - cu suprafață de temperare mărită; c - cu șicană; d - cu dop de cupru; 1 - poanson; 2 - șicană; 3 - dop.

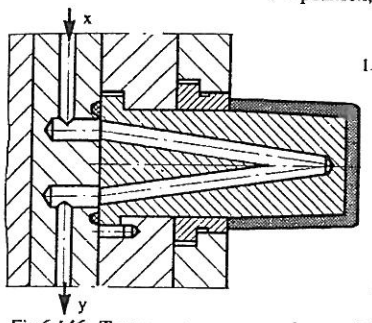


Fig.6.146. Temperarea poansoanelor cu secțiune dreptunghiulară.

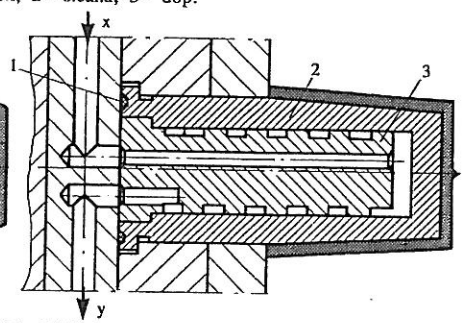


Fig.6.147. Temperarea poansoanelor (d ≥ 40 mm): 1 - garnitură; 2 - poanson; 3 - miez filetat.

Poansoane cu diametre sau lățimi d ≥ 40 mm. Pentru acest tip de poansoane se folosesc soluții constructive care să asigure un transfer termic cât mai intens (*fig.6.147*). Mediul de temperare pătrunde printr-un orificiu central din miez spre capul poansonului și apoi recirculat prin canale spirale spre exteriorul miezului. Miezurile se execută din alamă pentru un transfer termic bun și pentru a nu rugini, în vederea unei demontări ușoare în caz de defecțiune a sistemului.

Poansoanele cu pereți dubli pot fi răcite conform soluției constructive prezentate în *fig.6.148*. Pentru temperarea unor astfel de piese de tip capac cu pereți dubli se folosește un poanson executat din două bucăți asamblate prin sudură. Se impune condiția ca peretele să aibă grosimea $s \geq 4$ mm. Pentru temperarea poansonului se realizează două circuite:

- un circuit de temperare în miezul *2*, circuit realizat cu ajutorul țevii *3*;
- un circuit între corpul *1* și miezul *2*, realizat cu ajutorul a două canale spiralate care se întâlnesc la capătul poansonului.

6.6.6.2.4. Temperarea elementelor speciale

În cazul matrițelor de injectat complexe trebuie asigurată și temperarea corespunzătoare a elementelor speciale (bacuri, miezuri rotitoare, etc.).

Răcirea bacurilor în cazul matrițelor de injectat complexe are o mare importanță

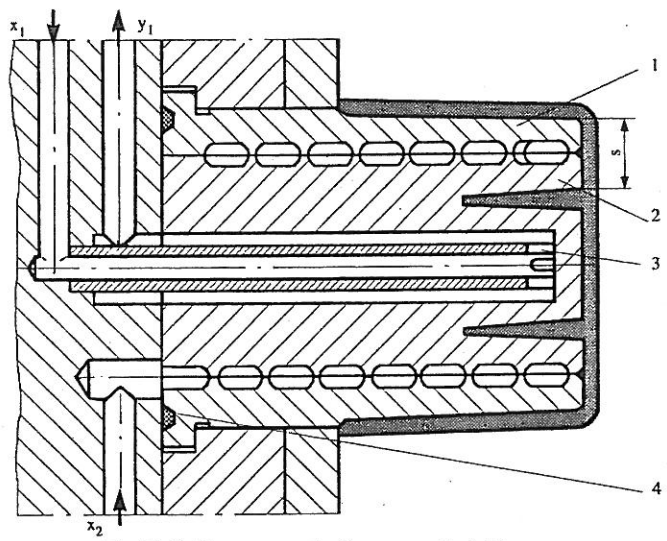


Fig.6.148. Temperarea pieselor cu pereți dubli:
x_1, y_1 - intrarea și ieșirea mediului de temperare 1; x_2, y_2 - intrarea și ieșirea mediului de temperare 2 (y_2 nu este cuprins în secțiune);
1 - corp; 2 - miez; 3 - țeavă; 4 - garnitură de etanșare;

deoarece în cazul diferențelor mari de temperatură între piesele mobile bacurile se pot bloca. Pentru a putea amplasa circuitul de răcire în interiorul bacurilor, acestea se proiectează deseori la dimensiuni mai mari decât cele impuse de calculele de rezistență mecanică. Circuitele de răcire a bacurilor se realizează, în cele mai multe cazuri, cu ajutorul canalelor de răcire practicate în bacuri (*fig.6.149*). Practicarea canalelor de răcire în bacuri este îngreunată, în multe cazuri, datorită dimensiunilor lor mici, existenței prismelor

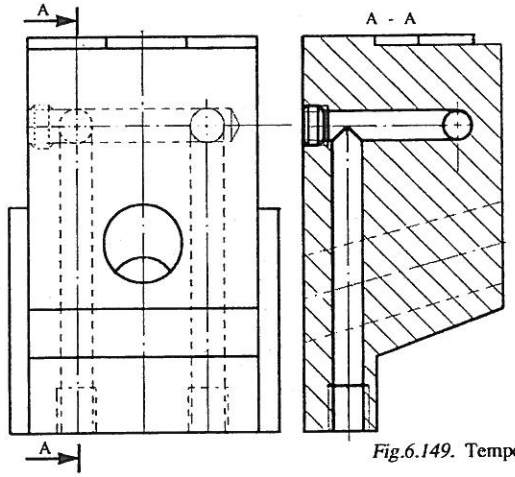


Fig.6.149. Temperarea unui bac.

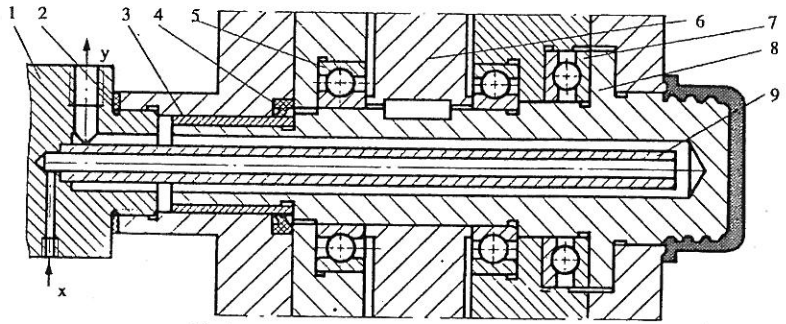


Fig.6.150. Temperarea poansoanelor rotitoare:
1 - distribuitor; 2 - garnitură; 3 - bucșă; 4 - manșetă de rotație; 5 - rulment; 6 - roată dințată; 7 - rulment; 8 - poanson; 9 - țeavă.

de închidere, găurilor pentru coloanele înclinate, pastilelor care dau forma piesei injectate, etc. În cazurile în care nu este posibilă răcirea bacurilor cu canale de răcire, se recurge la o răcire mult mai intensă a plăcilor matriței cu care bacul vine în contact (placa portpoanson, placa de închidere, placa de alunecare).

La temperarea poansoanelor rotitoare, pentru piese injectate filetate, trebuie asigurată legătura între circuitul de răcire din exteriorul mașinii și elementele din matriță aflate în mișcare de rotație. În *fig.6.150* este prezentat un astfel de exemplu. Mediul de temperare din distribuitorul *1*, care este fix, pătrunde prin țeava *9* și ajunge la capătul poansonului rotitor *8*. Mediul de temperare circulă prin orificiul central al poansonului *8* și ajunge în distribuitorul fix *1*. Etanșările circuitului se realizează cu ajutorul garniturii *2* și manșetei de rotație *4*. Pentru alimentarea miezurilor rotitoare se pot folosi racorduri speciale.

La aruncătoarele tip taler, care au în general diametre peste 20 mm, se recomandă răcirea datorită suprafeței mari aflată în contact cu materialul. În acest caz se aplică sistemul de răcire cu țeavă interioară aruncătorului (*fig.6.86*).

6.6.7. Elemente auxiliare circuitelor de temperare

Mediul din rețea ajunge în circuitul de temperare al matriței de injectat prin intermediul unor furtune de cauciuc și a unor racorduri (*fig.6.151*). În varianta constructivă din *fig.6.151.a*, racordul *1* din poliamidă se fixează prin înșurubare în gaura filetată a matriței de injectat. În varianta constructivă din *fig.6.151.b* racordul se montează într-o gaură, se autofixează și se autoetanșează. Prin strângerea piuliței striate *5* pe corpul *4*, elementul elastic *7* este comprimat între șaibele *6* și *8* care se deformează și se realizează autoetanșarea și autofixarea.

În unele cazuri, pentru a ajunge la elementul mecanic care se temperează, circuitul de temperare trece prin plăci, pastile, etc. În acest caz se ridică probleme de etanșare și din această cauză se folosesc elemente speciale (*fig.6.152*).

Pentru înfundarea găurilor tehnologice ale circuitelor de temperare se folosesc dopuri filetate executate din poliamidă sau alamă (*fig.6.149*).

Etanșările fixe, până la temperaturi ale mediului de temperare de până la 100°C,

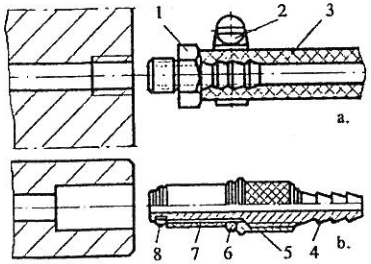


Fig.6.151. Elemente auxiliare la temperarea matrițelor: a - circuit de temperare cu racord simplu; b - circuit de temperare cu racord cu autoetanșare; 1 - racord simplu; 2 - colier; 3 - furtun de cauciuc; 4 - corp; 5 - piuliță; 6 - șaibă; 7 - element elastic; 8 - șaibă.

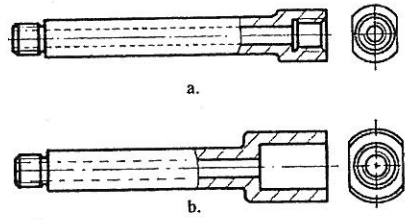


Fig.6.152. Prelungitoare:
a - pentru racorduri simple;
b - pentru racorduri cu autofixare.

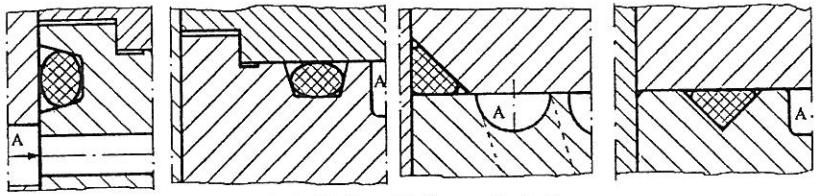


Fig.6.153. Etanșări fixe cu inele O.

se realizează în general cu ajutorul inelelor de cauciuc. Acestea se montează în locașuri corespunzătoare dimensional în raport cu dimensiunile inelului O. Inelele O asigură etanșarea circuitului de temperare în diferite variante constructive (*fig.6.153*).

Etanșările mobile ale circuitului de temperare sunt mai puțin întâlnite în construcția matrițelor. Pentru etanșările mobile de translație se folosesc inele O, iar pentru etanșările de rotație manșete de rotație.

Etanșările fixe pentru fluide de temperare cu temperatrura de lucru peste 100°C folosesc garnituri de etanșare din clingerit, azbest sau cupru.

Ca medii de temperare se folosesc:

- până la 100°C: apa dedurizată;
- peste 100°C: uleiul mineral.

6.7. Aerisirea matrițelor

În multe cazuri, după scoaterea din matriță, piesele injectate prezintă pe suprafața lor zone arse sau cu lipsuri de materiale. Aceste zone incomplete și cu urme de arderi pot avea la origine cauze tehnologice (injectarea prea rapidă, materialul plastic prea fierbinte, duza mașinii de injectat necorespunzătoare) sau condiții de aerisire necorespunzătoare matriței de injectat. În cazul în care nu are nici o posibilitate de ieșire din matriță, aerul este comprimat și supraîncălzit, determinând arderea materialului (*fig.6.154*). Aerisirea cuiburilor matriței se face în mod corespunzător atunci când aerul este comprimat în zona aruncătoarelor deoarece aerul are posibilitatea să fie eliminat din interiorul cuibului. De asemenea, când suprafețele matriței de injectat prezintă asperități în zona aruncătoarelor

deoarece aerul are posibilitatea să fie eliminat din interiorul cuibului. De asemenea, când suprafețele matriței de injectat prezintă asperități în zona planului de separație ca urmare a rectificării plane cu disc abraziv de granulație mare, aerisirea matriței este corespunzătoare și nu necesită alte măsuri speciale.

La proiectarea matrițelor pentru injectarea anumitor piese este necesar să fie luate măsuri speciale pentru asigurarea aerisirii corespunzătoare a cuibului. Aceste aerisiri suplimentare pot fi realizate prin prelucrări corespunzătoare a cuibului matriței, prin prelucrări ale aruncătoarelor și prin prelucrări în planul de separație al matriței.

Astfel, de exemplu, la piesele tip pahar cu injectare laterală, materialul plastic plastifiat umple cuibul mai întâi inelar, după care frontul de curgere se deplasează spre fundul paharului. Materialul plastic închide astfel aerul din cuib și-l împinge spre fundul paharului. Pentru evitarea arderii materialului plastic în zona fundului paharului, se plasează un poanson montat cu joc, în așa fel încât acesta să permită ieșirea aerului în afara cuibului, materialul plastic putând umple complet cuibul. Pentru ușurarea eliminării aerului în atmosferă, sub poansonul de aerisire se pot plasa găuri. Se recomandă ca poansonul de aerisire să se aleagă în așa fel încât forma lui să contribuie la îmbunătățirea esteticii piesei (*fig.6.155*).

În funcție de tipul materialului termoplastic, în lucrarea [27] se recomandă jocul la montajul în matriță a poansonului de aerisire (*tab.6.18*).

Pentru piesele înalte și înguste injectate lateral, aerisirea se poate face ca în *fig.6.156* aplicând o gaură conică de diametru foarte mic în zona cea mai înaltă a cuibului, iar pentru piesele cu poansoane mai mari se folosește soluția din *fig.6.157*.

În cazul unor cuiburi mai complicate, cu suprafață mare și care necesită o aerisire mai eficace se aplică soluția constructivă prezentată în *fig.6.158*. Lamele speciale *2* sunt strânse în pachet cu ajutorul știfturilor *1* și a pastilelor *3* și introduse în placa de formare *4*. Aerisirea cuibului se produce prin degajările *c*, canalele *b* și gaura *a*.

Tab.6.18. **Jocul la montajul poansonului de aerisire pentru diferite materiale termoplastice.**

Material termoplastic	Joc [mm]
Materiale termoplastice cristaline PP, PA, POM, PE	< 0,015
Materiale termoplastice amorfe PS, ABS, PC, PMMA	< 0,030

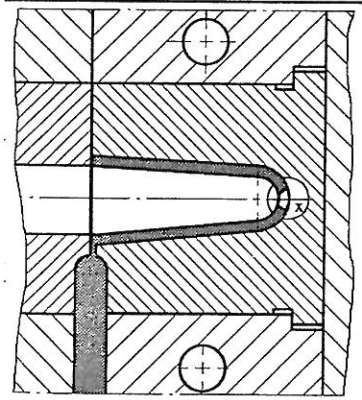


Fig.6.154. Injectarea laterală care favorizează apariția zonei de ardere: x - zonă de ardere.

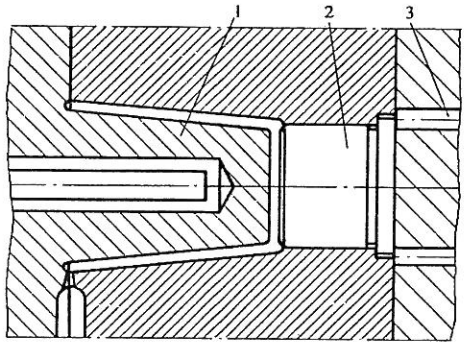


Fig.6.155. Aerisirea cuibului la produse tip pahar: 1 - poanson; 2 - poanson de aerisire; 3 - orificiu de aerisire.

La matrițele pentru injectarea pieselor de dimensiuni mari și la care estetica piesei permite suprafețe mate, aerisirea cuibului se poate realiza cu ajutorul unor pastile sinterizate din bronz, suficient de poroase pentru a permite trecerea aerului fără ca materialul plastic să înfunde porozitățile. În spatele pastilelor trebuie asigurate găuri pentru eliminarea aerului. Este recomandabil ca pastila să fie introdusă la dimensiunea obținută prin sinterizare, fără prelucrări mecanice ulterioare, deoarece porozitățile se pot obtura în timpul prelucrării.

În unele cazuri aerisirea cuibului matriței se poate face prin prelucrări corespunzătoare ale aruncătoarelor (*fig.6.159*).

În foarte multe cazuri aerisirea cuiburilor se realizează prin prelucrări corespunzătoare

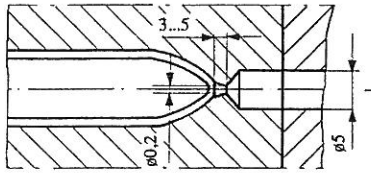


Fig.6.156. Aerisirea cuibului la piesele înalte și înguste.

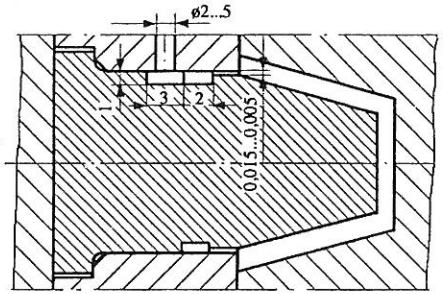


Fig.6.157. Soluție de aerisire a cuibului.

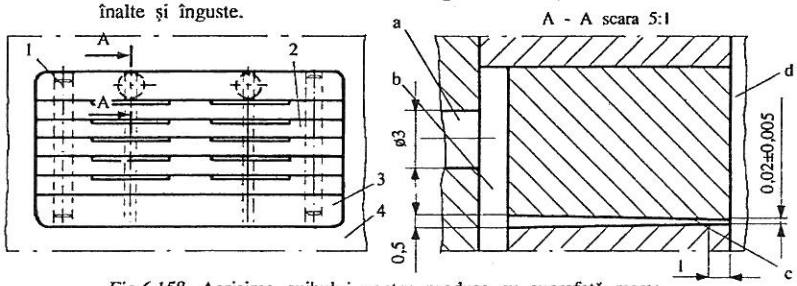


Fig.6.158. Aerisirea cuibului pentru produse cu suprafață mare:
1 - știft; 2 - lamele speciale; 3 - pastilă; 4 - placă de formare;
a - gaură de aerisire; b - canale de aerisire; c - degajări de aerisire; d - cuib.

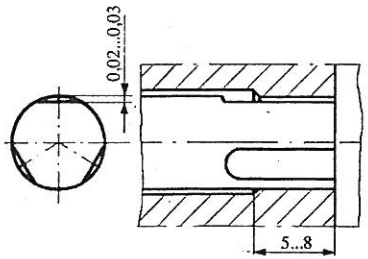


Fig.6.159. Aerisirea cu ajutorul aruncătoarelor.

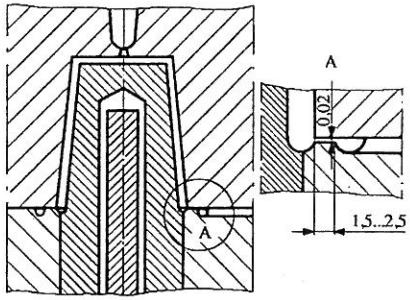


Fig.6.160. Sistem de aerisire în planul de separație la injectarea directă sau punctiformă.

în planul de separație al matriței. Pentru matrițele cu un cuib injectate direct în zona centrală sau pentru matrițele cu mai multe cuiburi injectate punctiform în zona planului de separație se practică canale de fugă pentru aerisire (*fig.6.160*). Pentru cazul injectării în cuib cu canale de distribuție, canalele de fugă se întrerup în zona rețelei de injectare (*fig.6.161*).

La injectarea pieselor lungi, la care este nevoie de o viteză mare de umplere a cuibului, procesul de umplere poate fi încetinit dacă nu se realizează aerisirea corespunzătoare a cuibului. În astfel de cazuri, pentru evacuarea aerului din cuib, la capătul piesei injectate se practică canale plate de adâncime mică [1].

6.8. Construcții deosebite de matrițe

6.8.1. Matrițe de injectat cu bacuri

Prin procedeul de injectare în matriță se obțin piese în formă variată cu diferite grade de complexitate constructivă. Marea majoritate a acestor piese au suprafețele laterale netede ceea ce permite obținerea lor în matriță fără dificultate. În unele cazuri însă piesele injectate au pe suprafețele laterale găuri străpunse sau înfundate, canale, gravuri, etc. Aceste forme laterale care dau „umbre" nu permit obținerea piesei într-o matriță obișnuită, ci impune proiectarea și executarea unei matrițe deosebite. La acest tip de matrițe formele laterale se obțin cu ajutorul unor elemente mobile care după injectarea piesei sunt retrase pentru ca piesa să poată fi eliminată din cuib. Existența elementelor mobile (bacuri) mărește gradul de complexitate al matriței, astfel:

- ajustarea elementelor mobile în contact cu materialul plastic în așa fel încât să nu se producă scurgeri de material termoplastic;
- existența unor suprafețe în mișcare relativă ridică problema alegerii oțelurilor și al tratamentului termic al acestora;
- existența zonelor cu diferență de temperatură determină dilatări termice diferite ale bacurilor și elementelor vecine, fenomene care pot provoca împănări;
- probleme de rezistență mecanică a elemetelor mobile la presiunea dezvoltată de materialul termoplastic;
- realizarea răcirii elementelor mobile este mai dificilă.

Mișcarea bacurilor unei matrițe se realizează prin intermediul unei acționări mecanice, hidraulice sau pneumatice.

Acționarea mecanică este cea mai des folosită, mișcarea bacurilor fiind determinată de forța mașinii de injectare la închiderea și deschiderea matriței. Cele mai importante probleme care se pun la proiecatarea matrițelor de injectare sunt:

- rezistența mecanică a elementelor mecanice ce compun ansamblul la forța dezvoltată de presiunea materialului termoplastic;
- mișcarea bacurilor prin intermediul coloanelor înclinate și a barelor cotite;
- închiderea bacurilor cu ajutorul unor elemente de zăvorâre folosind suprafețe înclinate.

În *fig.6.162* este prezentat cazul unei matrițe cu bacuri. În timpul procesului de injectare forța de închidere P, dezvoltată de mașina de injectare, dă naștere forței $P \cdot ctg\alpha$ care trebuie să fie superioară forței dezvoltată de presiunea materialului plastic din cuib (*fig.6.163*). Forța $P \cdot ctg\alpha$ care menține bacul în poziția închisă în timpul procesului de

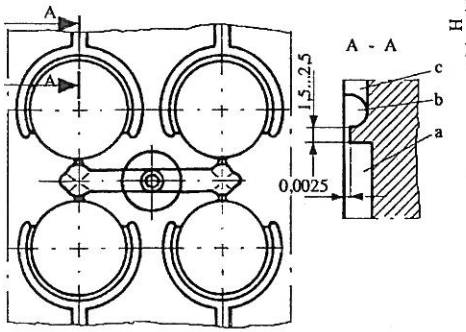


Fig.6.161. Aerisirea cuibului în planul de separaţie pentru matriţe cu mai multe cuiburi: a - cuib; b - canal de fugă; c - canal de aerisire.

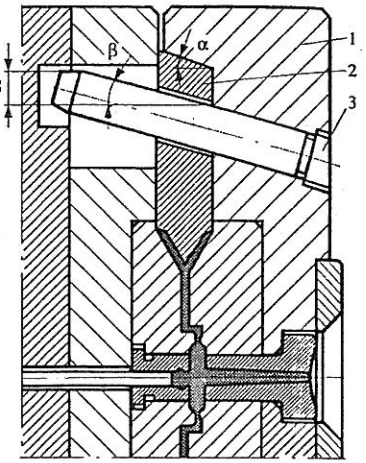


Fig.6.162. Schema de principiu a unei matriţe cu bacuri: 1 - placă de închidere; 2 - bac; 3 - coloană înclinată; β - unghiul de înclinare al coloanei înclinate; α - unghiul suprafeţei de închidere; H - cursa bacului.

injectare depinde de unghiul α al suprafeţei de închidere. Cu cât acest unghi este mai mic cu atât această forţă este mai mare şi deci mai favorabilă pentru închidere. În urma presiunii de injectare din cuibul matriţei, presiune ce se exercită pe suprafaţa bacului în contact cu materialul plastic, prisma de zăvorâre este supusă la eforturi de încovoiere şi forfecare. Există metode pentru calculul valorilor maxime ale deplasării v şi a săgeţii f (cap. 6.1.4.6.).

Mişcarea de deschidere şi închidere a bacurilor, ce folosesc ca element constructiv coloana înclinată, poate fi studiată considerând forţele care iau naştere în zona de contact între bac şi coloană în funcţie de unghiul de înclinare al coloanei (*fig.6.164*). În urma ecuaţiei de echilibru pe direcţia de mişcare va rezulta

$$P \cos \beta = G \sin \beta + F . \qquad (6.106)$$

Prin neglijarea forţei de frecare ($F = 0$) care este foarte mică, se obţine

$$P = G \, tg \, \beta . \qquad (6.107)$$

Din această relaţie rezultă că forţa de deschidere creşte o dată cu creşterea unghiului şi greutatea bacului. O dată cu creşterea unghiului creşte însă şi încărcarea coloanei înclinate $P \cdot \sin\alpha$. Conform acestor aprecieri un unghi mai mic de înclinare al coloanei este mai favorabil, însă pentru realizarea unei deplasări mai mari a bacului este necesar un unghi mai mare. În practică unghiul de înclinare a coloanei este un compromis între unghiurile mici cerute de încărcarea coloanei şi unghiurile mari cerute de deplasările bacului.

Unghiurile β recomandate pentru înclinarea coloanei sunt cuprinse între 15...25°, iar unghiul suprafeţei de închidere α se recomandă să fie cu 2...3° mai mare decât unghiul coloanei [1, 2, 19, 21].

Mişcarea bacurilor poate fi dirijată cu ajutorul unor bare cotite de fiecare dată când se impun condiţii suplimentare (*fig.6.165*):

- necesitatea de a extrage piesa injectată de pe poanson înainte de deschiderea bacurilor;

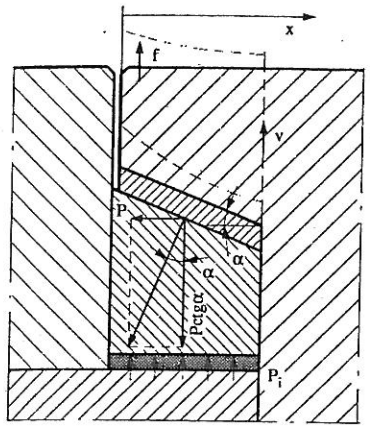


Fig.6.163. Schema de închidere şi zăvorâre a unei matriţe cu bacuri: α - unghiul suprafeţei de închidere; P - forţa de închidere.

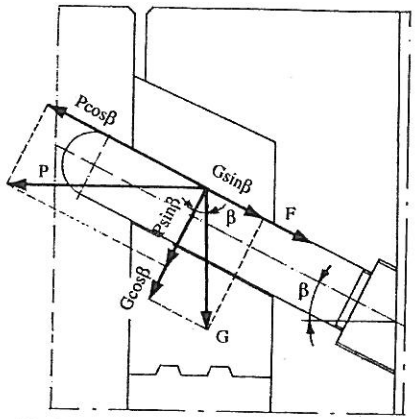


Fig.6.164. Schema de principiu de acţionare a unui bac prin coloană înclinată: β - unghiul de înclinare al coloanei înclinate; P - forţa de deschidere; G - greutatea bacului; F - forţa de frecare între coloană şi bac.

- pentru a deschide unele bacuri întârziat faţă de altele cu care se află în contact (matriţe cu mai multe bacuri).

Unghiul de închidere a barei cotite β, se recomandă să fie între 25...30°, iar unghiul suprafeţei de închidere α să fie de 15° [1, 2, 19, 21].

Suprafeţele de închidere se realizează:

- direct prin placa de închidere (*fig.6.162*);
- prin intermediul unor plăci de ajustare centrate cu ştifturi şi prinse cu şuruburi de placa de închidere (*fig.6.165*);
- prin intermediul unor prisme de închidere (*fig.6.166*).

Asigurarea poziţiei bacului după deschidere în vederea închiderii ulterioare se realizează prin intermediul unei bile cu arc (*fig.6.165*).

Faţă de soluţiile constructive prezentate până acum există încă numeroase variante constructive ce se aleg în funcţie de forma constructivă a piesei injectate ce impune deschiderea prin bacuri.

În unele cazuri pentru acţionarea bacurilor se renunţă la coloanele înclinate şi se folosesc ştifturi, bolţuri, rulmenţi. La deschiderea sau închiderea matriţei elementele constructive rulează pe căi înclinate şi ca urmare a mişcării relative dintre ele se realizează acţionarea bacurilor. O astfel de soluţie constructivă este prezentată în *fig.6.167*. Elementul de zăvorâre în formă de „U" determină, prin intermediul unor ştifturi care alunecă în canalele plăcilor de conducere, mişcarea bacurilor. Atât plăcile de conducere cât şi elementul de zăvorâre se fixează şi se centrează de plăcile matriţei prin intermediul şuruburilor şi ştifturilor. Această soluţie constructivă ce realizează conducerea bacurilor în exteriorul matriţei oferă posibilităţi optime amplasării cuibului, realizării circuitului de răcire şi reducerea gabaritului bacurilor.

În unele situaţii este nevoie de o cursă mare de deschidere a bacurilor. Coloanele înclinate au unghiuri limitate între 15...18°, ceea ce impune realizarea de curse mari de deschidere a matriţei în vederea unor curse mari ale bacurilor. În acest caz se foloseşte

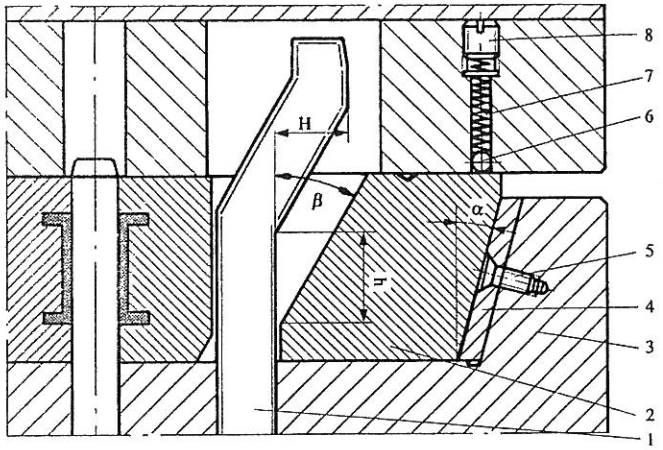


Fig.6.165. Acționarea bacului folosind bara cotită:
α - unghiul suprafeței de închidere; β - unghiul de înclinare al barei cotite;
H - cursa bacului; h - lungimea de întârziere a deschiderii bacului; 1 - bară cotită;
2 - bac; 3 - placă de închidere; 4 - placă de ajustare; 5 - șurub; 6 - bilă; 7 - arc; 8 - dop.

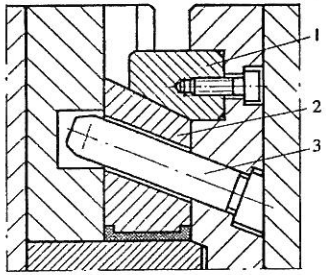


Fig.6.166. Soluție constructivă pentru zăvorârea bacului:
1 - prismă de închidere;
2 - bac; 3 - coloană înclinată.

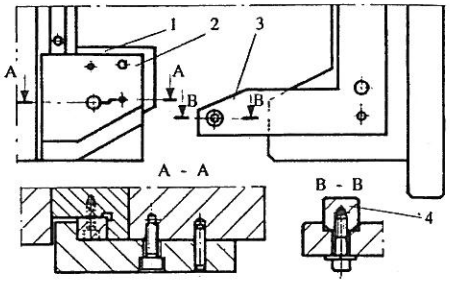


Fig.6.167. Soluție constructivă pentru acționarea bacului:
1 - bac; 2 - placă de conducere a bacului;
3 - element de zăvorâre; 4 - știft de conducere.

soluția constructivă din *fig.6.168.*

În cazul în care se dorește obținerea unor curse și mai mari ale bacurilor se folosește soluția din *fig.6.169.* În acest caz se folosesc ca elemente de conducere rulmenți ce rulează în căile plăcilor de conducere care pot avea unghiuri de înclinare mari ($\alpha > 45°$).

La unele matrițe de injectat se impune găsirea unor soluții constructive care să reducă la minimum dimensiunile bacurilor în vederea reducerii greutății. Prin folosirea soluției constructive din *fig.6.170* acționarea bacului se realizează prin intermediul unor bare în formă de „T". Prin aceasta se reduce dimensiunea bacului și totodată se folosește judicios bacul în vederea amplasării cuibului și a circuitului de răcire.

În foarte multe cazuri în pereții laterali ai pieselor injectate trebuiesc realizate diferite orificii străpunse sau înfundate de dimensiuni mici, orificii care impun realizarea unor deschideri laterale prin bacuri. În aceste cazuri în general cursele sunt mici și forțele

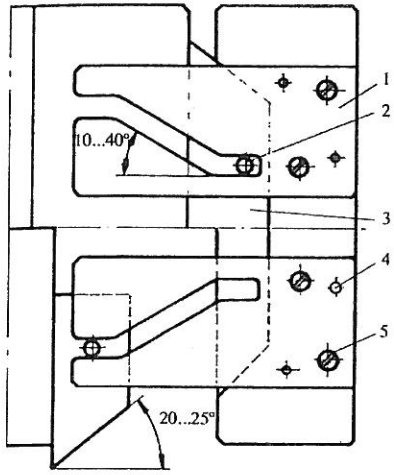


Fig.6.168. Schemă de principiu la acționarea bacurilor prin plăci de conducere:
1 - placă de conducere; 2 - bolț; 3 - bac;
4 - știft de centrare; 5 - șurub de fixare.

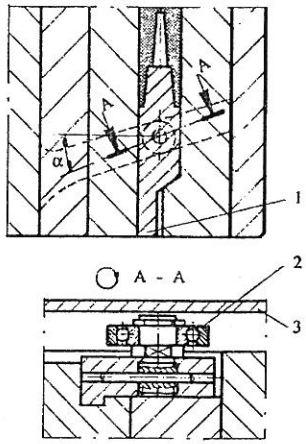


Fig.6.169. Soluție constructivă de închidere a bacurilor cu cursă mare:
1 - bac; 2 - rulment;
3 - placă de conducere.

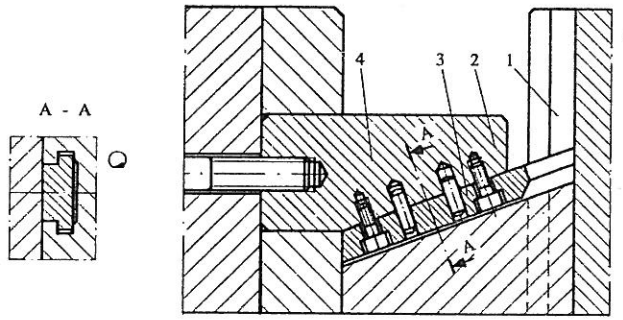


Fig.6.170. Soluție constructivă de acționare a bacurilor cu bară în formă de „T":
1 - ghidaj; 2 - bac; 3 - bară de conducere; 4 - prismă de închidere.

dezvoltate de materialul plastic la injectare sunt reduse. În *fig.6.171* este prezentată o soluție constructivă pentru realizarea unei găuri străpunse în peretele piesei injectate. Matrița trebuie să se deschidă în două plane de separație. Prin deschiderea matrițe câțiva milimetri în planul de separație I, prin intermediul unor arcuri elicoidale, se realizează extragerea poansonului din piesa injectată. După deschiderea în planul de separație I matrița se deschide în planul de separație II necesar scoaterii piesei injectate.

Pentru realizarea unei găuri în peretele central al piesei injectate se poate folosi și soluția din *fig.6.172.* În acest caz poansonul care realizează gaura este apăsat pe miezul central prin intermediul unui arc. Arcul realizează deschiderea bacului, iar coloana cilindrică teșită zăvorârea. Și în acest caz matrița se deschide în două plane de separație.

Pentru piesa injectată ce prezintă pe suprafața laterală profile de mică adâncime, se

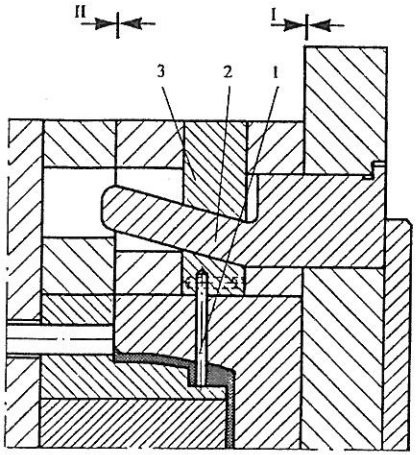


Fig.6.171. Soluție de acționare a bacurilor pentru orificii în piesa injectată:
1 - poanson; 2 - bară înclinată; 3 - bac.

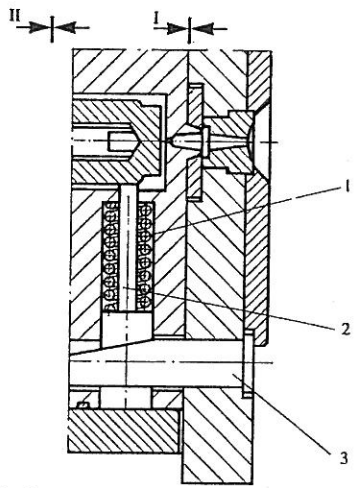


Fig.6.172. Soluție de acționare a bacurilor pentru orificii în piesa injectată:
1 - arc elicoidal; 2 - bac; 3 - coloană teșită.

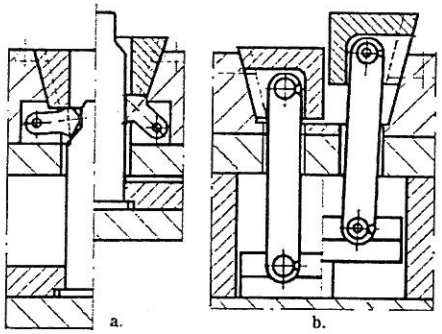


Fig.6.173. Soluție de acționare a bacurilor pentru curse mici: a, b - variante constructive.

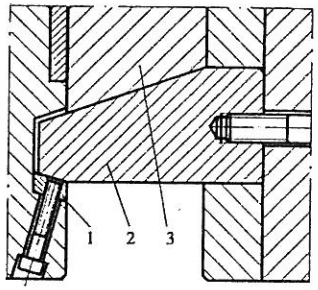


Fig.6.174. Zăvorârea bacurilor înalte:
1 - placă de ajustare; 2 - prismă de închidere; 3 - bac.

pot folosi soluțiile constructive din *fig.6.173.* Eliberarea profilelor laterale necesită o cursă scurtă a bacurilor, cursă care poate fi realizată folosind mișcarea de aruncare a matriței.

De foarte mare importanță în funcționarea matrițelor cu bacuri este zăvorârea bacurilor care se realizează prin suprafețe de închidere folosind diferite soluții constructive. O soluție constructivă foarte des întâlnită este cea prezentată în *fig.6.165.* În acest caz elementul de închidere al bacurilor îl constituie placa de închidere *3* care se ajustează cu bacul *2* prin intermediul plăcii *4.*

În vederea unei funcționări îndelungate a matriței se acordă atenție prelucrării suprafețelor bacului și plăcii de ajustare care trebuie să fie foarte bine șlefuite. Tratamentul termic al bacului și al plăcii de ajustare se face astfel încât placa de ajustare să fie mai puțin dură decât bacul.

În foarte multe cazuri, zăvorârea bacurilor se realizează cu o prismă de închidere

(*fig.6.166*). Soluția prezintă avantaje în ceea ce privește costul execuției și ușurința reparării matriței față de soluția constructivă din *fig.6.165.*

În cazul unor piese injectate foarte înalte, datorită presiunii de injectare se crează momente încovoietoare mari. Există pericolul ca în urma încovoierii prismei, matrița să se deschidă. Pentru acest fapt prisma este sprijinită în partea fixă a matriței și se ajustează prin intermediul unei plăci (*fig.6.174*).

În cazul unor piese injectate de dimensiuni mici, presiunea materialului exercitată pe suprafața bacurilor dă naștere la momente încovoietoare mici. Pentru astfel de cazuri există soluțiile constructive din *fig.6.175.*

Când piesele injectate au în peretele lateral orificii străpunse pe suprafața poansonului nu apar presiuni și în acest caz elementele de conducere a bacului realizează și zăvorârea bacului (*fig.6.171* și *fig.6.172*).

O altă problemă importantă în proiectarea, realizarea și exploatarea matrițelor cu bacuri o constituie ghidarea bacurilor. Cele mai utilizate soluții constructive folosite sunt plăcile de ghidare și barele de ghidare în formă de „T" (*fig.6.176*).

Pentru micșorarea uzurii bacurilor se acordă atenție materialelor din care se confecționează elementele de ghidare și tratamentului termic, astfel ca elementele de ghidare să aibă o duritate mai mică decât a bacurilor. În exploatare suprafețele de ghidare se ung cu unsoare consistentă.

Unele piese injectate au o configurație complicată astfel încât pentru realizarea piesei se folosesc mai multe bacuri. În unele cazuri aceste bacuri se sprijină unele pe celelalte, situație care impune realizarea unei ajustări perfecte a suprafeței de contact care constituie și suprafața de închidere pentru piesa injectată. În cazul în care configurația laterală a piesei impune folosirea a patru bacuri, este favorabil ca suprafețele de întâlnire să fie înclinate la 45° (*fig.6.177*). Există însă suprafețe care impun folosirea a patru bacuri ce nu se pot întâlni după suprafețe de 45°, în acest caz două din bacuri suprapunându-se peste

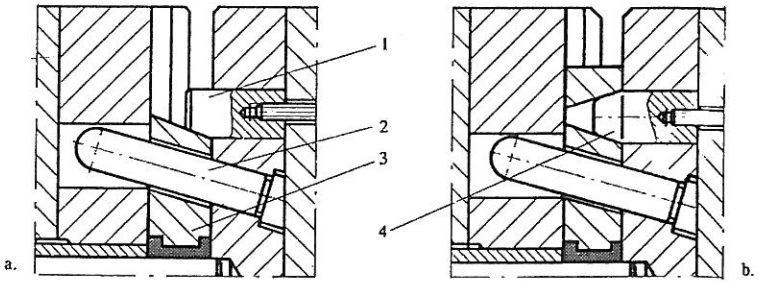


Fig.6.175. Zăvorârea bacurilor de dimensiuni mici:
1 - coloana teșită; 2 - coloana înclinată; 3 - bac; 4 - coloană conică;
a - cu coloana teșită; b - cu coloană conică.

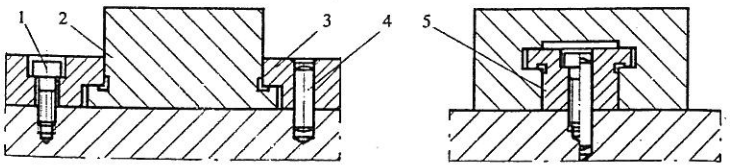


Fig.6.176. Ghidarea bacurilor:
1 - șurub; 2 - bac; 3 - placă de ghidare; 4 - știft de centrare; 5 - bară în formă de „T".

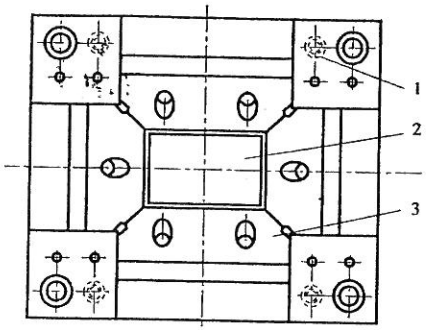


Fig.6.177. Prezentarea schematică a unei matrițe cu patru bacuri ce se întâlnesc la 45°: 1 - placă de ghidare; 2 - poanson; 3 - bac.

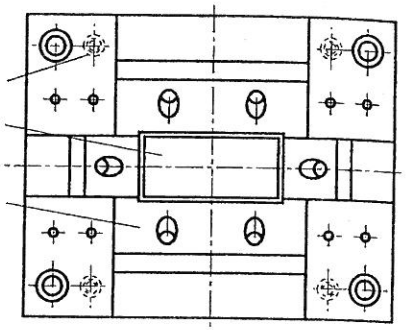


Fig.6.178. Prezentarea schematică a unei matrițe cu patru bacuri suprapuse: 1 - placă de ghidare; 2 - poanson; 3 - bac.

celelalte două (*fig.6.178*). De data aceasta suprafețele de sprijin devin și suprafețe de închidere. Datorită acestui fapt trebuie realizată întârzierea la deschidere a bacurilor de sprijin pentru a nu avea frecări în zona de contact a bacurilor. Întârzierea bacurilor poate fi realizată printr-un joc corespunzător între coloanele înclinate și găurile din bacuri sau prin folosirea barelor cotite.

În cazul în care piesa injectată o impune pot exista matrițe cu mai mult de patru bacuri care au suprafețe de închidere comune.

În cazul în care o parte din piesa formată prin injectare se găsește în partea duzei trebuie asigurată închiderea bacurilor în această zonă. Această închidere se realizează cu ajutorul unor plăci de ajustare montate în zona duzei (*fig.6.179*).

Pentru ca bacurile să nu se frece direct pe placa de sprijin dinspre parte aruncării se folosesc plăci intermediare de alunecare. Atât placa de închidere din partea duzei cât și plăcile de alunecare se tratează termic corespunzător în raport cu bacurile încât duritatea lor să fie mai mică decât a bacului.

La proiectarea și execuția matrițelor cu bacuri se acordă o importanță deosebită și aruncării pieselor din cuib. Aruncarea mecanică prin aruncătoare tip știft prezintă unele particularități. Aruncarea din interiorul poansonului piesei nu permite decât rareori automatizarea ciclului de injectare deoarece piesa injectată poate să rămână pe aruncătoare. Aruncarea din marginea piesei (piesa nu rămâne pe aruncătoare) este favorabilă automatizării ciclului de lucru, însă aruncătoarele trebuie să se retragă înaintea închiderii bacurilor. Retragerea aruncătoarelor se poate face prin intermediul unor arcuri care retrag placa aruncătoare. Slăbirea arcurilor însă crează pericolul ca aruncătoarele să rămână deasupra planului de alunecare a bacurilor și astfel să se producă ruperea lor și deteriorarea bacurilor. Cea mai favorabilă aruncare în acest caz este aruncarea hidraulică cu ajutorul căreia aruncătoarele plasate pe conturul sau interiorul piesei sunt retrase înainte de închiderea bacurilor.

Temperarea corespunzătoare a bacurilor în cazul matrițelor de injectare cu bacuri are o importanță mare deoarece în cazul diferențelor mari de temperatură între piesele mobile bacurile se pot bloca. Pentru a putea amplasa circuitul de temperare în interiorul bacurilor ele se proiectează deseori la dimensiuni mai mari decât o cere rezistența mecanică. Circuitul de temperare se realizează în cele mai multe cazuri cu ajutorul canalelor practicate în bacuri. Practicarea canalelor în bacuri este îngreunată datorită dimensiunilor mici a acestora, existența prismelor de închidere, găurilor pentru coloanele înclinate, pastilelor care dau forma pieselor injectate, etc. Se pot folosi și alte modalități de răcire comune poansoanelor

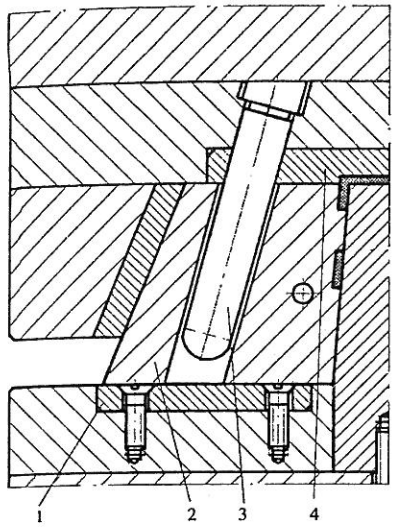


Fig.6.179. Ajustarea bacurilor: 1 - placă de ajustare; 2 - bac; 3 - coloană înclinată; 4 - placă de ajustare.

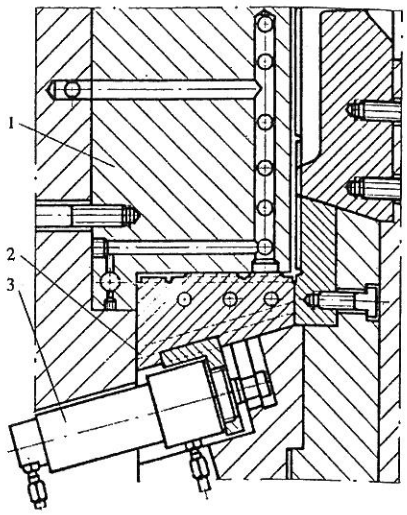


Fig.6.180. Acționarea hidraulică a bacurilor: 1 - poanson; 2 - bac; 3 - motor hidraulic liniar.

sau plăcilor. Atunci când răcirea bacurilor nu este posibilă se recurge la o răcire mai intensă a plăcilor matriței cu care bacul vine în contact (placa portpoanson, placa de închidere, placa de alunecare).

În afară de acționarea mecanică a bacurilor, pe care am prezentat-o până acum, se folosesc în unele cazuri deosebite acționarea hidraulică (*fig.6.180*) sau mai rar acționarea pneumatică (*fig.6.181*). Forța de deschidere în aceste cazuri este creată de motoare hidraulice liniare sau motoare pneumatice liniare. Acționarea hidraulică se justifică mai ales în cazul unor bacuri de dimensiuni foarte mari pentru piesele de mari dimensiuni. În acest caz

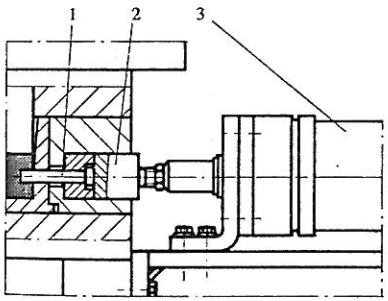


Fig.6.181. Acționarea pneumatică a bacurilor: 1 - poanson; 2 - bac; 3 - motor pneumatic liniar.

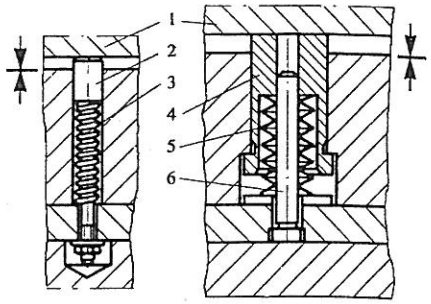


Fig.6.182. Deschiderea suplimentară cu arc: a - cu arc elicoidal; b - cu arcuri disc și bucșă tampon; 1 - placă mobilă; 2 - tijă tampon; 3 - arc elicoidal; 4 - bucșă tampon; 5 - arcuri disc; 6 - tijă de conducere.

maşina de injectat trebuie să fie dotată cu ansamblul de componente hidraulice şi electrice necesar acţionării bacurilor. Acţionarea hidraulică a bacurilor folosită simultan cu acţionarea hidraulică a aruncării permite automatizarea ciclului de lucru al maşinii de injectat.

6.8.2. Matriţe de injectat cu deschidere în mai multe plane de separaţie

Există cazuri în care este necesar ca matriţele de injectat să se deschidă în mai multe planuri de separaţie, cum sunt de exemplu:

- matriţele de injectat cu bacuri carea realizează orificii şi profile situate deasupra planului de separaţie principal şi care necesită ca deschiderea bacurilor să se facă înaintea aruncării;
- matriţele de injectat cu un singur cuib sau cu mai multe cuiburi la care reţeaua de injectare se află în alt plan de separaţie şi pentru a cărei eliminare este nevoie de o deschidere suplimentară a matriţei;
- matriţele de injectat la care aruncarea se face cu placă dezbrăcătoare;
- matriţele de injectat care necesită o extragere suplimentară a piesei cu zone umbrite pentru a crea posibilitatea aruncării piesei injectate;
- matriţele la care piesele injectate prezintă un număr mare de găuri şi ale căror cuiburi se află situate şi în partea aruncării.

În cazul deschiderii matriţei în mai multe planuri de separaţie există o ordine bine determinată a deschiderilor. Planurile suplimentare de separaţie sunt deschise, în general, în mod forţat cu ajutorul unor elemente mecanice, înaintea deschiderii planului de separaţie principal. Prin *plan de separaţie* principal se înţelege, de regulă, planul de deschidere a matriţei pentru eliminarea piesei injectate.

În general se practică următoarele soluţii constructive mai cunoscute:

- deschiderea cu arcuri;
- deschiderea cu mecanism cu cârlig;
- deschiderea prin blocare cu arc;
- deschiderea cu lanţuri cu zale;
- deschiderea prin mecanisme cu articulaţie;
- deschiderea prin tamponare.

Deschidere cu arcuri. Pentru matriţele de injectat având dimensiuni mici şi cu cursă de deschidere mică în planul de separaţie suplimentar, se pot folosi arcurile elicoidale sau arcuri disc (*fig.6.182*). Cursa de deschidere este limitată cu ajutorul unor tije tampon sau bucşe tampon. Arcurile disc montate în serie (varianta *b*) se folosesc atunci când sunt necesare forţe mai mari pentru deschidere. Pentru a avea o forţă de deschidere cât mai uniform repartizată, în ambele variante se utilizează, de regulă, mai multe arcuri. Placa aruncătoare este ghidată prin intermediul unor coloane şi bucşe de ghidare. Al doilea plan de deschidere al matriţei (nereprezentat în figură) îl constituie planul de separaţie al piesei care se injectează.

Deschidere cu mecanism cu cârlig. Mecanismele cu cârlig zăvoresc planul de separaţie dorit (în general planul de separaţie principal) care se deblochează numai după o anumită cursă de deschidere a planului de separaţie secundar. Matriţa se deschide în continuare în planul de separaţie principal pentru eliminarea piesei injectate. Forţa de închidere a mecanismului cu cârlig poate fi realizată de către un arc elicoidal. Un astfel de

mecanism în etapele sale de funcţionare este prezentat schematic în *fig.6.183*. Matriţa de injectat se deschide în planul de separaţie *I*, planul de separaţie *II* fiind zăvorât de către cârligul *2* care este ţinut în poziţie închisă prin arcul elicoidal *7*. Când ştiftul de comandă *3* ajunge în porţiunea înălţată a camei *1*, cârligul *2* se roteşte în jurul ştiftului *6*, fixat într-un lagăr. La terminarea cursei de ridicare a ştiftului de comandă *3* pe cama *1*, ciocul cârligului *2* iese din locaşul piesei de blocare *4* şi matriţa se deschide în planul de separaţie *II*. Cârligul *2* sub acţiunea arcului *7* se roteşte în jurul ştiftului *6* şi se aşează pe tamponul *5* într-o poziţie favorabilă închiderii. La deschidere un rol funcţional important îl au capetele teşite ale cârligului *2*, ale camei *1* şi ale piesei de blocare *4*.

Mecanismele cu cârlig se montează, în general, câte două bucăţi dispuse simetric pe corpul matriţei de injectat. Pentru matriţele de dimensiuni mari se folosesc patru mecanisme aşezate simetric. La construcţia mecanismelor de acest tip trebuie acordată o mare atenţie alegerii corecte a oţelurilor, tratamentului lor termic şi calităţii suprafeţelor pieselor mobile. Se recomandă executarea cârligului din oţeluri aliate cu crom şi nichel, tratate termic până la obţinerea unei durităţi de 55 HRC.

Deschidere prin mecanisme de blocare cu arc. Acest sistem de deschidere este prezentat în *fig.6.184*. Matriţa se deschide în două planuri de separaţie. Placa mobilă *4* se mişcă prin intermediul unor coloane de ghidare *1* şi al bucşelor de ghidare *5*. Coloana de ghidare *1* are un canal inelar exterior în care se fixează elementul de blocare *3*, acţionat de arcul elicoidal *2*. La începutul cursei, matriţa de injectat se deschide în planul de separaţie *I*, placa mobilă *4* rămânând blocată datorită elementului de blocare *3* fixat în şanţul coloanei de ghidare *1*. La terminarea cursei de deschidere a planului de separaţie *I*, tamponul *8* fixat pe tija *7* determină blocarea plăcii mobile *4* şi matriţa se deschide în planul de separaţie *II*. Placa mobilă *4* este ghidată prin intermediul bucşelor de ghidare *6* pe tijele *7*.

Deschidere suplimentară cu lanţuri cu zale. Această soluţie se poate folosi numai atunci când neuniformităţile de mişcare la cursa de deschidere nu pot produce deteriorarea matriţei sau a piesei injectate. Lanţurile trebuiesc montate simetric pe matriţă şi trebuie să aibă o lungime corespunzătoare pentru a se putea regla cursa de deschidere a matriţei de injectat. Lanţurile se montează pe părţile laterale ale matriţei în aşa fel încât la poziţia închisă a acesteia zaele să nu intre în spaţiul activ al matriţei. În general, un capăt al lanţului este fix iar celălalt este reglabil.

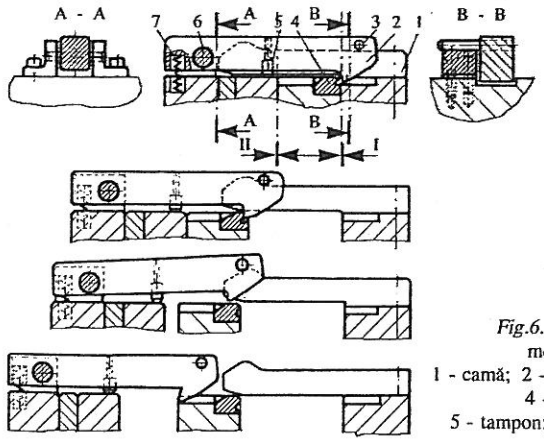


Fig.6.183. Deschiderea prin mecanism cu cârlig:
1 - camă; 2 - cârlig; 3 - ştift de comandă; 4 - piesă de blocare; 5 - tampon; 6 - ştift; 7 - arc elicoidal.

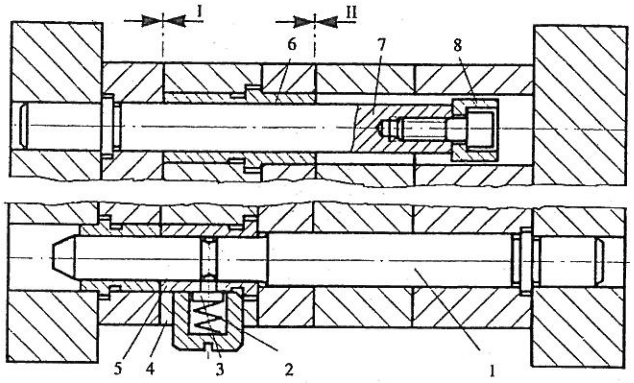


Fig.6.184. Sistem de deschidere prin mecanism de blocare cu arc:
1 - coloană de ghidare; 2 - arc elicoidal; 3 - element de blocare; 4 - placă mobilă; 5 - bucşă de ghidare; 6 - bucşă; 7 - tijă; 8 - tampon.

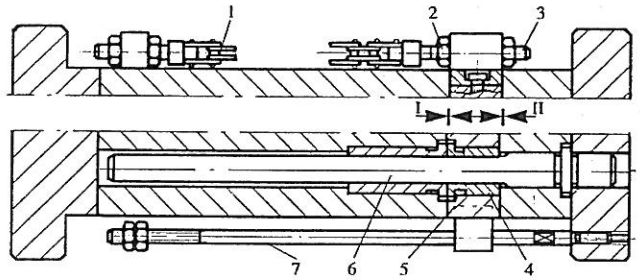


Fig.6.185. Sistem de deschidere prin lanţuri cu zale:
1 - lanţ cu zale; 2 - piuliţă; 3 - şurub; 4 - bucşă de ghidare; 5 - placă mobilă; 6 - coloană de ghidare; 7 - tijă tampon.

În *fig.6.185* este prezentată o matriţă de injectat cu deschidere în două planuri de separaţie, deschiderea planului suplimentar realizându-se prin lanţuri cu zale. Matriţa se deschide în planul de separaţie *I*. După întinderea lanţului *1*, placa mobilă *5* este pusă în mişcare şi matriţa se deschide în planul de separaţie *II*. Placa mobilă *5* alunecă prin intermediul bucşelor de ghidare *4* pe coloanele de ghidare *6*. Cursa plăcii mobile *5* este limitată de piuliţele *8* şi de tija tampon *7*. Lungimea lanţului se poate regla prin intermediul şuruburilor *3* şi al piuliţelor de reglare *2*. Sistemul de deschidere cu lanţuri este folosit mai ales la aruncarea cu placă a pieselor înalte la care cursa de deschidere şi de aruncare a matriţei este foarte mare.

Deschidere prin mecanisme cu articulaţie. Acest sistem se foloseşte în cazurile în care se urmăreşte extragerea forţată a piesei injectate din anumite zone ale cuiburilor (*fig.6.186*). Din acest motiv, matriţa de injectat se deschide forţat în planul de separaţie *II*, aproape concomitent cu planul de separaţie *I*. Sistemul de braţe *6* este articulat prin ştifturile *2* şi *5*. Ştifturile *2* se fixează în lagărele din placa portpoanson *8* respectiv din placa intermediară *9*, care trebuie separate. La cursa de deschidere a matriţei, cama *1* acţionează asupra bucşei de presiune *4*, astfel încât sistemul de braţe articulate determină deschiderea în planul de separaţie *II*, în funcţie de înălţimea părţii

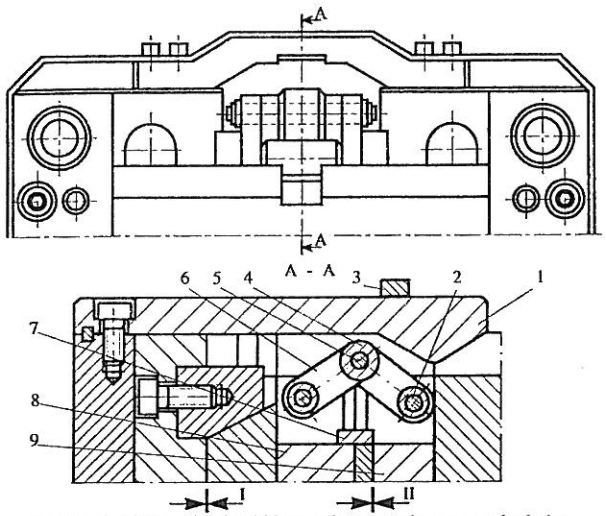


Fig.6.186. Sistem de deschidere prin mecanism cu articulaţie:
1 - camă; 2 - ştift; 3 - braţ de siguranţă; 4 - bucşă de presiune; 5 - ştift; 6 - braţ; 7 - placă tampon; 8 - placă portpoanson; 9 - placă intermediară.

active a camei *1*. Limitarea deschiderii se face cu ajutorul plăcii tampon *7*. Cama *1*, având lungime mare şi fiind supusă forţei de încovoiere care ia naştere la contactul cu bucşa de presiune *4*, este asigurată împotriva încovoierii ei de braţul de siguranţă *3* fixat prin şuruburi pe partea mobilă a matriţei. La cursa de închidere a matriţei articulaţia este readusă în poziţia iniţială prin tamponarea părţii mobile.

Sistem de deschidere prin tamponare. Cu acest sistem se poate realiza deschiderea matriţe în mai multe planuri de separaţie. Matriţa de injectat cu un singur cuib, cu culee punctiformă, prezentată în *fig.6.187* se deschide în trei planuri de separaţie pentru eliminarea culeei rămase în matriţă după injectare. Duza *6* a maşinii de injectat se retrage de pe duza *5* a matriţei şi datorită forţei arcului elicoidal *4* culeea se eliberează. Matriţa începe cursa de deschidere şi placa de formare *1* este antrenată forţat de un sistem de închidere (nereprezentat în figură). Matriţa se deschide în planul de separaţie *I*, cursa de deschidere fiind limitată de tampoanele *3*. Se realizează astfel spaţiul necesar pentru aruncarea culeei. După tamponare, placa de extracţie *2* este reţinută şi se face extragerea culeei din locaşul plăcii de formare *1*. Prin aceasta culeea este eliminată dintre plăcile matriţei. În continuarea mişcării matriţa se deschide în planul de separaţie *III*, piesa injectată şi culeea fiind eliminate separat din matriţă. La începerea unui nou ciclu, plăcile matriţei sunt readuse în poziţia iniţială odată cu închiderea matriţei.

6.8.3. Matriţe pentru injectarea pieselor cu filet

Piesele injectate din materiale plastice având filete trebuie să rezulte în stare finală, fără a mai avea nevoie de prelucrări ulterioare. Din această cauză, în raport cu carac-

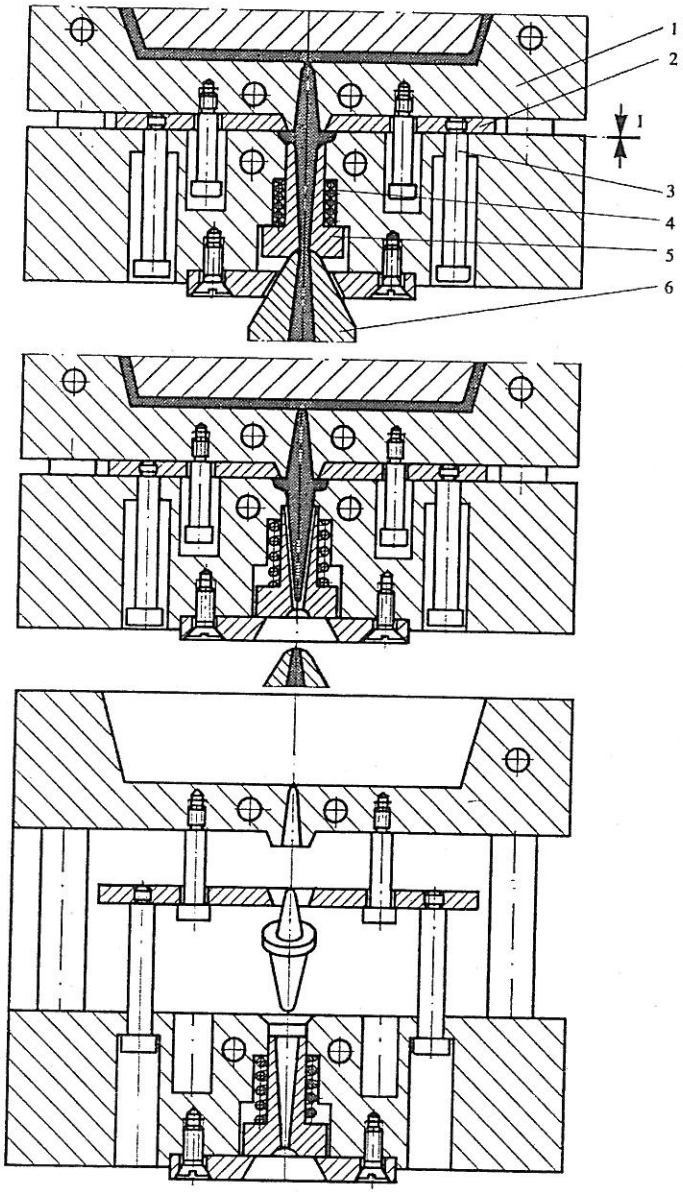


Fig.6.187. Sistem de deschidere prin tamponare:
1 - placă de formare; 2 - placă de extracție; 3 - tampon; 4 - arc;
5 - duza matriței; 6 - duza mașinii;
a, b, c - faze ale procesului de deschidere.

teristicile lor constructive, matrițele de injectat în care se obțin piesele cu filet au o construcție specială.

Factorii care determină alegerea unei anumite soluții constructive pentru realizarea matrițelor de injectat piese filetate sunt: seria de fabricație a pieselor injectate, caracteristicile mașinii de injectat disponibile, costul matriței, tipul filetului și caracteristicile lui dimensionale, precizia impusă filetului, contracția piesei injectate pe poansonul filetat, etc.

Astfel, piesele injectate cu filet interior se realizează în matriță prin injectarea materialului plastic plastifiat într-un cuib și pe un poanson filetat pe porțiunea exterioară. Dificultatea o constituie scoaterea piesei injectate de pe poanson care prezintă porțiuni umbrite (flancurile filetului).

Se disting, în principal, următoarele soluții constructive:
- matrițe cu eliminarea forțată a pieselor;
- matrițe cu poansoane detașabile;
- matrițe cu poansoane rotitoare;
- matrițe cu filete parțiale.

6.8.3.1. Matrițe cu eliminarea forțată a pieselor

Posibilitatea de a obține piese injectate cu filet interior în matrițe de injectat cu eliminare forțată este limitată și depinde de felul materialului plastic injectat și de caracteristicile constructive ale filetului. Piesele injectate din polietilenă, polipropilenă, poliamidă, acetobutirat de celuloză, cu filete de adâncime mai mică pot fi obținute prin acest procedeu. Se pot realiza, de exemplu, piese cu filet rotund la care deformările filetului sunt foarte mici.

O soluție constructivă de scoatere forțată a piesei injectate din matriță este prezentată schematic în *fig.6.188*. După deschiderea matriței, placa aruncătoare *2*, acționată de sistemul de aruncare, scoate forțat piesa injectată de pe poansonul filetat *1*.

6.8.3.2. Matrițe cu poansoane filetate detașabile

Pentru serii de fabricație mici, piesele injectate cu filet interior pot fi obținute în matrițe de injectat cu poansoane filetate detașabile care se introduc în matriță manual de către operator. După injectare, la deschiderea matriței, piesa injectată este aruncată

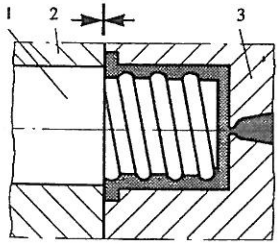


Fig.6.188. Scoaterea forțată a piesei injectate din matriță:
1 - poanson filetat; 2 - placă aruncătoare; 3 - placă de formare.

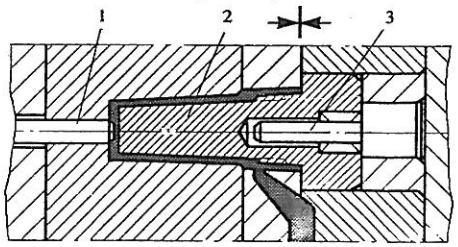


Fig.6.189. Matriță cu poansoane filetate detașabile:
1 - știft de aruncare; 2 - poanson detașabil; 3 - element de conducere.

din matriţă împreună cu poansonul filetat, de pe care se elimină în afara matriţei cu ajutorul unui dispozitiv cu acţionare manuală sau electrică. Sistemul de deşurubare cu poanson detaşabil este prezentat în *fig.6.189*. Poansonul filetat *2* se aşează în partea fixă a matriţei, într-un locaş, prin intermediul elementului de conducere *3*. Poansonul este prevăzut în interior cu un locaş pătrat în vederea deşurubării lui ulterioare de pe piesa injectată.

Matriţele cu poansoane detaşabile soluţionează injectarea piesele cu filet interior, de dimensiuni mici, la care se cere o precizie mare a filetului. Pentru folosirea raţională a acestui tip de matriţă se utilizează de regulă mai multe poansoane detaşabile.

6.8.3.3. Matriţe de injectat cu poansoane rotitoare

Pentru producţia curentă de serie a pieselor injectate cu filet interior, cea mai largă utilizare o au matriţele de injectat cu poansoane rotitoare. În aceste cazuri poansonul filetat se deşurubează în timpul cursei de deschidere sau după deschiderea matriţei de injectat, prin construcţia matriţei asigurându-se mişcarea de rotaţie, respectiv mişcarea de translaţie a poansonului filetat (*fig.6.190*).

Mişcarea de rotaţie a poansonului filetat se poate realiza pe mai multe căi:

- manual, cu ajutorul unei manivele;
- mecanic, folosind cursa de deschidere a matriţei sau prin intermediul unui motor electric montat pe matriţă;
- hidraulic, folosind un motor hidraulic liniar sau rotaţional.

Forţă şi moment de demulare. Mişcarea de rotaţie a poansonului filetat în aproape toate cazurile constructive foloseşte ca elemente de antrenare şi transmitere a mişcării roţile dinţate. Poansonul filetat este antrenat în mişcare de rotaţie ca urmare a mişcării primite prin intermediul unui angrenaj (*fig.6.191*).

Se consideră presiunea reziduală p_r din matriţă la demularea piesei injectate de pe poansonul filetat cu filet cu profil triunghiular. Ţinând cont că la o spiră a filetului există două suprafeţe de contact pe lăţimea h, efortul mediu de demulare la raza medie a filetului se poate calcula cu relaţia

$$F_{DI} = \mu S = 4\mu\pi r h p_r, \tag{6.108}$$

unde:

- μ - coeficientul de frecare între miez şi piesa injectată;
- S - suprafaţa de contact între miez şi piesa injectată pe distanţa de un pas;

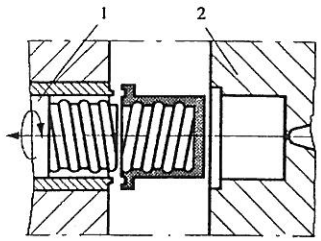


Fig.6.190. Matriţă cu poanson rotitor:
1 - poanson rotitor; 2 - placă de formare.

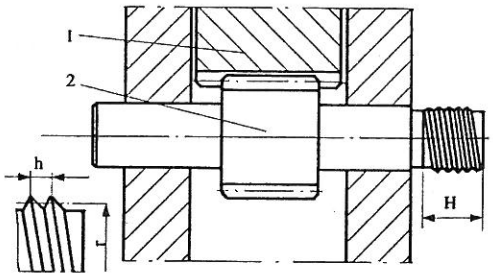


Fig.6.191. Sistem de antrenare:
1 - roată dinţată; 2 - poanson rotitor.

- r - raza medie a filetului;
- h - pasul filetului;
- p_r - presiunea reziduală din matriţă.

Forţa de demulare pentru întreaga înălţime H a poansonului filetat va fi:

$$F_D = \frac{H}{h} 4\mu\pi r h p_r = 4\pi r H p_r \mu, \tag{6.109}$$

Momentul de demulare se calculează cu relaţia

$$M_D = F_D r = 4\mu\pi r^2 p_r. \tag{6.110}$$

Pentru calculul momentului de demulare în cazul filetului în formă de fierăstrău se foloseşte relaţia (6.72) prezentată în capitolul 6.4.

Presiunea reziduală se determină aproximativ cu relaţia

$$p_r \approx \frac{p_{i\,max}}{100}, \tag{6.111}$$

unde $p_{i\,max}$ - presiunea de injectare maximă.

Soluţii constructive pentru matriţe de injectat cu poansoane rotitoare. Prin folosirea unei surse exterioare pentru realizarea deşurubării pieselor injectate de pe poansoane, se pot obţine piese filetate cu număr mare de spire (manual cu manivelă, motoare electrice, motoare hidraulice rotative, motoare hidraulice liniare sau motoare pneumatice liniare).

Deşurubarea poansonului filetat prin acţionarea unei manivele este un procedeu puţin răspândit, folosit mai ales la serii de fabricaţie relativ mici. Transmiterea mişcării de rotaţie a manivelei la poansonul filetat se poate face prin intermediul unor angrenaje cu roţi dinţate conice şi cilindrice, prin angrenaje cu roţi dinţate conice şi lanţuri sau prin angrenaj melc - roată melcată. Acţionarea manuală prin manivelă pentru deşurubarea poansonului filetat se realizează înainte de eliminarea piesei injectate.

În soluţia constructivă prezentată în *fig.6.192* acţionarea manivelei *1* determină mişcarea de rotaţie a angrenajului de roţi dinţate conice *2* şi *3*. Pe acelaşi arbore cu roata dinţată conică *3* se află şi roata dinţată cilindrică *4* care antrenează roata dinţată

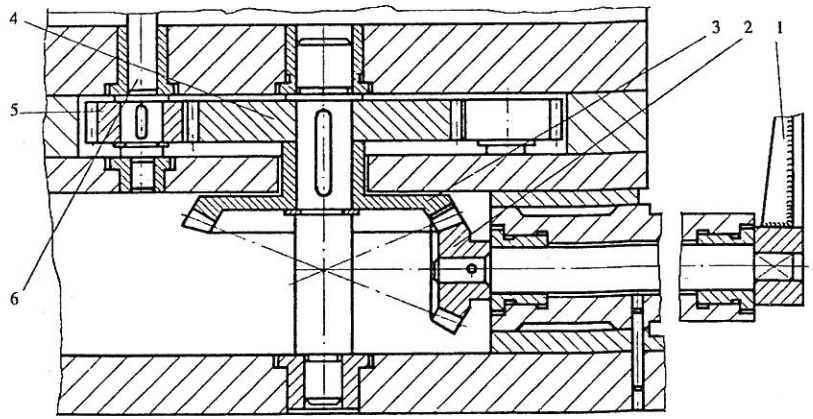


Fig.6.192. Matriţă cu deşurubare prin manivelă:
1 - manivelă; 2 - pinion; 3 - roată dinţată; 4 - roată dinţată;
5 - roată dinţată antrenată; 6 - arbore filetat.

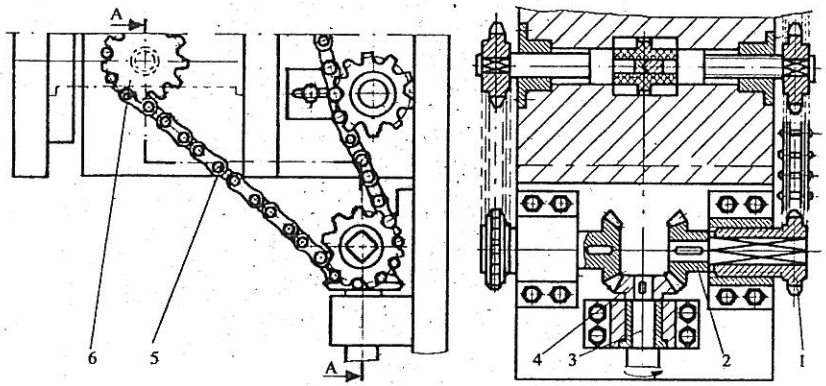


Fig.6.193. Matriță cu deșurubare prin manivelă:
1 - roată de lanț; 2 - roată dințată; 3 - ax; 4 - roată dințată;
5 - lanț cu zale; 6 - roată de lanț.

cilindrică *5* solidarizată cu arborele filetat *6*. Aceasta realizează deșurubarea poansonului filetat din piesa injectată.

Prin acționarea unei manivele se poate realiza mișcarea de rotație cu ajutorul unor roți dințate conice și a lanțurilor cu zale (*fig.6.193*). Prin acționarea axului *3* cu ajutorul unei manivele, se determină mișcarea de rotație în angrenajul conic *4* și *2*, mișcarea transmițându-se roții de lanț *1*. Astfel, se pune în mișcare lanțul *5* care rotește roțile de lanț *6* care antrenează miezurile rotitoare. În timpul procesului de deșurubare a piesei injectate rezultă o deplasare axială a întregului sistem de transmisie care se realizează prin înfiletarea roților de lanț *6* și *1* în bucșe filetate care au pasul identic cu pasul piesei injectate.

O altă sursă exterioară pentru deșurubarea poansoanelor filetate o constituie acționarea electromecanică. Comanda motorului electric de acționare se realizează printr-un releu de timp sau prin intermediul unor contacte electrice care trebuie să asigure decuplarea la timp a motorului electric. Decuplarea târzie sau prematură a motorului electric în timpul revenirii poansonului filetat în poziția inițială poate conduce la rebutarea piesei injectate, la distrugerea poansoanelor filetate și la blocarea angrenajului de transmitere a a mișcării de rotație. Aceste probleme au condus la necesitatea realizării unor agregate de acționare compuse din motor electric de acționare cu frână electromagnetică, întrerupător automat și cuplaj special.

În cazul acționării directe cu motor electric, mișcarea de rotație a poansonului filetat se obține folosind roți dințate cilindrice în combinație cu un angrenaj melc - roată melcată, care are rolul de a reduce turația (*fig.6.194*). Mișcarea de rotație a arborelui motorului electric se transmite printr-un cuplaj al melcului *1*, roții melcate *2*, roții dințate cilindrice de antrenare *3* și roții dințate cilindrice de antrenare *4*, care constituie poansonul filetat. Mișcarea de rotație a motorului electric poate fi transmisă la poansonul filetat și printr-un angrenaj de roți dințate conice și cilindrice, în care caz însă, turația motorului electric de acționare trebuie micșorată printr-un reductor de turație cu raport de transmisie corespunzător.

Motoarele hidraulice sau pneumatice liniare pot fi utilizate în bune condiții pentru acționarea deșurubării poansoanelor filetate, în special în cazurile când forța necesară deșurubării piesei injectate de pe poansonul filetat este foarte mare. Ca element pentru

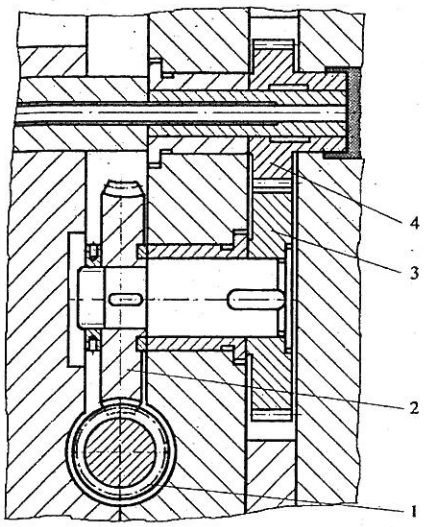


Fig.6.194. Matriță cu acționare exterioară prin motor electric:
1 - melc; 2 - roată melcată;
3 - roată dințată antrenată;
4 - miez rotitor.

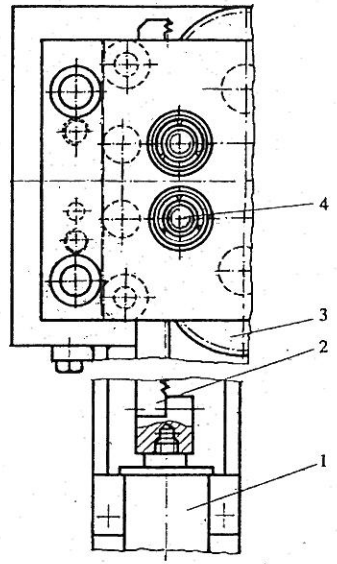


Fig.6.195. Matriță cu deșurubare, acționată cu motor hidraulic:
1 - motor hidraulic liniar; 2 - cremalieră;
3 - roată dințată de antrenare; 4 - poanson filetat.

transformarea mișcării de translație a pistonului motorului hidraulic liniar în mișcarea de rotație a poansonului filetat se folosesc cremaliere și roți dințate cilindrice (*fig.6.195*).

La majoritatea matrițelor de injectat cu miezuri rotitoare mișcarea de rotație a miezurilor se obține prin transformarea mișcării de translație a matriței, la deschidere, cu ajutorul unor șuruburi cu poansoane sau cremaliere, în mișcarea de rotație.

În *fig.6.196* este prezentată o matriță de injectat cu deșurubare care folosește ca element pentru transformarea mișcării de translație, la deschiderea matriței, în mișcare de rotație șurubul cu pas mare și cu mai multe începuturi. Așa cum rezultă din schița prezentată, șurubul 1 este fixat în placa 4 din partea duzei. La deschiderea matriței de injectat în planul de separație I, piulița 3 împreună cu roata dințată 2 încep să se rotească. Roata dințată 2 antrenează roata dințată de pe poansonul filetat 5 imprimându-i o mișcare de rotație, respectiv de translație, ca urmare a înșurubării lui în bucșa filetată *6*. Poansonul eliberează piesa injectată, asigurată contra rotirii, care apoi cade împreună cu rețeaua de injectare la deschiderea matriței în planul de separație *II*. Piulița *3* se sprijină pe doi rulmenți radiali - axiali cu role care au rolul de a prelua forța axială rezultată în timpul deșurubării.

Randamentul șurubului cu mai multe începuturi crește o dată cu creșterea pasului filetat. Din acest motiv se recomandă ca pasul real al filetului să fie 60...200 mm, iar unghiul elicei spirei să fie de minimum 45°. Profilul filetului este pătrat sau trapezoidal. Pasul filetului și raportul de transmisie al angrenajului trebuie să se stabilească în concordanță cu cursa de deschidere a mașinii, în așa fel încât numărul de rotații al șurubului trebuie să asigure deșurubarea completă a piesei injectate de pe poansonul filetat. Pentru calculul raportului de transmisie se utilizează formula

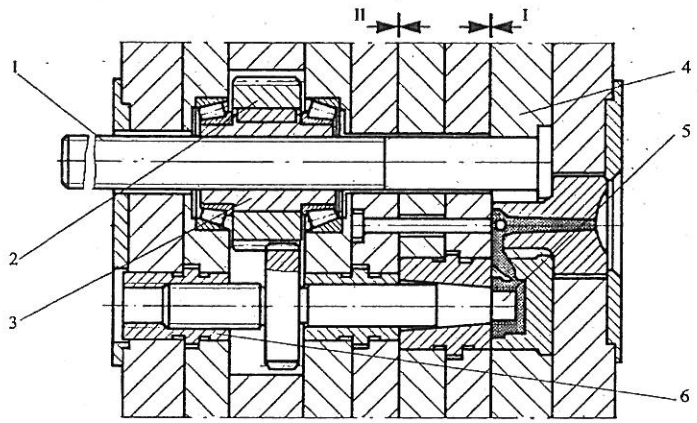


Fig.6.196. Matriță cu miezuri rotitoare cu șurub de antrenare cu mai multe începuturi:
1 - șurub de antrenare; 2 - roată dințată; 3 - piuliță; 4 - placă de fixare;
5 - miez rotitor; 6 - bucșă filetată.

$$i = \frac{H_1 - H_2}{np}, \qquad (6.112)$$

în care:

- i - raportul de transmisie;
- H_1 - cursa de deschidere a mașinii de injectat [mm];
- H_2 - cursa de aruncare [mm];
- n - numărul de spire al filetlui piesei injectate;
- p - pasul filetului șurubului cu mai multe începuturi [mm].

Modulul recomandat pentru roțile dințate cu dinți drepți este de 0,8...2,5 mm, iar lățimea roții de antrenare trebuie aleasă în așa fel încât să se asigure angrenarea perfectă și continuă cu roata dințată antrenată de pe poansonul filetat, care se deplasează axial.

Șurubul cu mai multe începuturi se execută de regulă din oțeluri aliate, cu suprafață durificată, iar pentru piuliță se utilizează cu cele mai bune rezultate bronzul fosforos sau poliamida. Ungerea piuliței în cazul utilizării se face cu unsoare consistentă având adaos de bisulfură de molibden.

Pentru buna desfășurare a sistemului de deșurubare cu poanson rotitor, matrițele de injectat de acest tip trebuie să se execute foarte îngrijit. Astfel, trebuie să se asigure o abatere de la coaxialitate cât mai mică între poansonul rotitor, bucșa de sprijin și filetul de conducere. Se recomandă ca pinionul de antrenare să fie executat dintr-o bucată cu poansonul filetat, iar elementele rotitoare să aibă jocuri precis calculate, ținând cont că ele lucrează la o temperatură relativ ridicată. De asemenea, este foarte importantă asigurarea răcirii poansonului filetat.

O soluție constructivă de deșurubare cu poanson rotitor este prezentată în *fig.6.197.* La deschiderea matriței de injectat în planul de separație *I*, piesa este scoasă din cuib și rămâne pe poansonul filetat *3*. În timpul cursei de deschidere a matriței, în planul II de separație începe mișcarea de rotație a poansonului datorită angrenajului format din roțile dințate *1* și *2*. Roata dințată *2* este solidară cu poansonul *3* prin intermediul știftului *4*. Poansonul *3* nu are posibilitatea de deplasare axială și prin deșurubarea lui determină mișcarea axială a piesei injectate. Arcul *5*, prin destindere, face ca placa port-poanson și, odată cu ea, bucșa *6* să se deplaseze axial, fiind permanent în contact cu

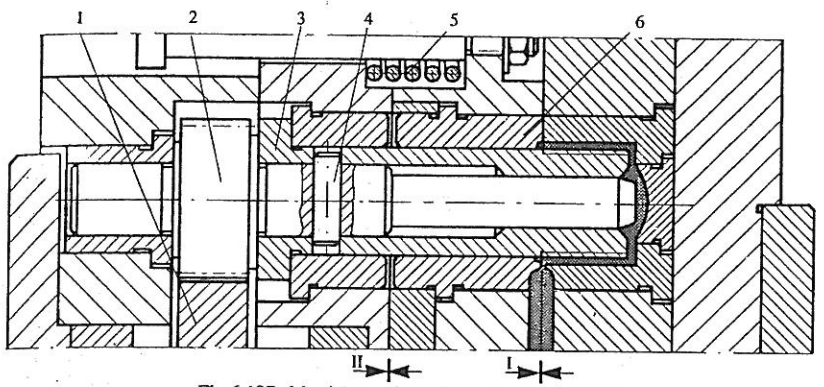


Fig.6.197. Matriță cu deșurubare cu miez rotitor:
1 - roată dințată de antrenare; 2 - roată dințată antrenată; 3 - poanson filetat;
4 - știft; 5 - arc; 6 - bucșă.

piesa injectată. Arcul se destinde până ce se epuizează lungimea părții filetate a poansonului și piesa, asigurată contra rotirii prin niște pinteni practicați pe suprafața frontală a bucșei *6*, este scoasă de pe poansonul 3.

Al doilea element mecanic folosit pentru transformarea mișcării de translație, la deschiderea matriței, în mișcare de rotație este cremaliera. În *fig.6.198* este prezentată o soluție constructivă pentru realizarea unor găuri filetate în pereții laterali ai piesei prin deșurubare cu ajutorul unei cremaliere. Mișcarea de rotație pentru deșurubare ia naștere ca urmare a deplasării liniare a pinionului *1* pe suprafața danturată a cremalierei *5*, o dată cu deplasarea părții mobile a matriței pe care este fixat. Pe același arbore cu pinionul *1* este fixată roata dințată *2* care preia mișcarea de rotație și o transmite pinionului *3*, acesta făcând corp comun cu poansonul filetat *4*. Poansonul se înșurubează într-o bucșă filetată, având pasul identic cu pasul filetului piesei injectate, realizând mișcarea axială a poansonului filetat. Înălțimea roții dințate *2* trebuie astfel stabilită încât să rămână în angrenare permanentă cu pinionul *3*.

În cazul acestui tip de matrițe, cremaliera trebuie bine ghidată și fixată, lungimea danturată a cremalierei se calculează în concordanță cu grosimea plăcilor matriței, iar numărul de rotații al poansonului filetat se asigură cu 1...2 rotații mai mare decât cel calculat teoretic, astfel încât cremaliera să nu poată ieși din angrenare.

6.8.3.4. Matrițe pentru piese cu filet parțial

La construcția matrițelor pentru injectarea pieselor cu filet interior nu este totdeauna necesar să se folosească un sistem de rotire a poansonului. Astfel, la piesele injectate filetate cu diametru mare este uneori convenabil ca porțiunea filetată să fie întreruptă parțial, ceea ce permite folosirea unor matrițe de injectat cu filet parțial mai simplu, cu poansoane mobile.

În *fig.6.199* este prezentat schematic un astfel de sistem. Filetul parțial este practicat în poansoanele mobile *1*. Știfturile de aruncare *3* sunt acționate de sistemul de aruncare al matriței, determinând mișcarea poansoanelor mobile *1*, ghidate pe suprafața conică a poansonului fix *4*. În urma acestei mișcări, filetul piesei injectate este eliminat de pe poansoanele mobile *1* și piesa este aruncată de pe poansonul fix *4*. Cursa de aruncare

a ştifturilor de aruncare este limitată, nepermiţând întâlnirea poansoanelor mobile *1*. Capetele ştifturilor de aruncare *3* sunt ghidate în canale în formă de T în placa portaruncătoare. La închiderea matriţei, readucerea sistemului de aruncare determină readucerea în poziţie iniţială atât a ştifturilor de aruncare *3* cât şi a poansoanelor mobile *1*.

6.8.3.5. Matriţe pentru realizarea filetelor în planul de separaţie a matriţei

Filetele exterioare ale pieselor injectate se realizează de regulă în următoarele moduri: filetul amplasat în planul de separaţie al matriţei de injectat, filet realizat prin

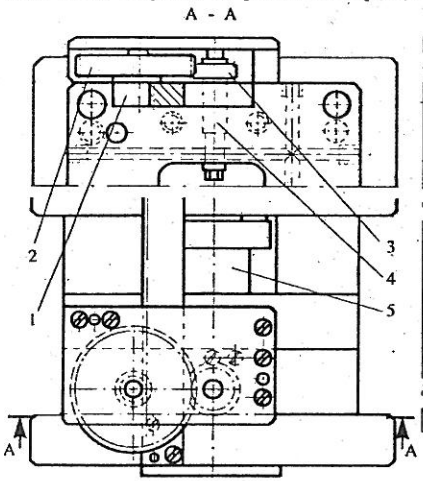


Fig.6.198. Matriţă cu deşurubare prin cremalieră:
1 - pinion; 2 - roată dinţată; 3 - pinion; 4 - poanson filetat; 5 - cremalieră.

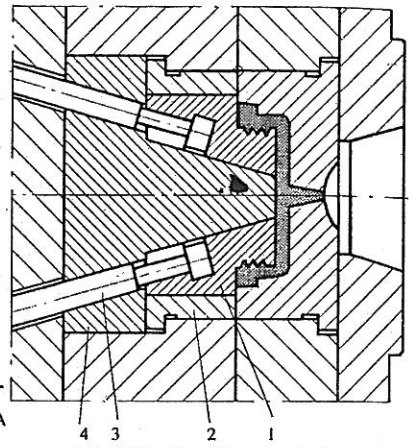


Fig.6.199. Matriţă pentru injectarea pieselor cu filet parţial:
1 - poanson mobil; 2 - bucşă; 3 - ştift de aruncare; 4 - poanson fix.

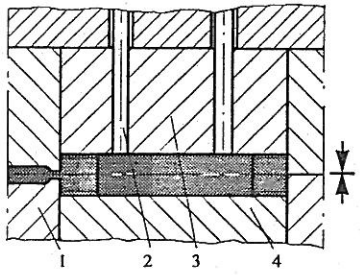


Fig.6.200. Matriţă pentru filetelor în planul de separaţie al matriţei:
1 - placă portpoanson; 2 - aruncător; 3, 4 - pastile de formare.

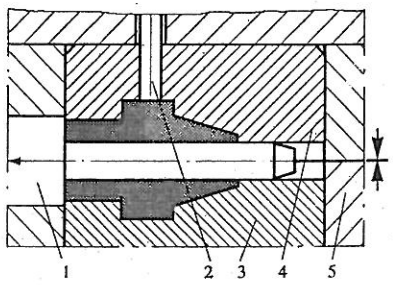


Fig.6.201. Matriţă pentru realizarea de piese filetate tubulare:
1 - poanson mobil; 2 - aruncător; 3, 4 - pastile de formare; 5 - placă.

deschidere cu bacuri şi filetul obţinut în bucşe de deşurubare.

Matriţele pentru realizarea filetelor în planul de separaţie care se aplică pentru piese filetate cu secţiunea plină (tije filetate, dopuri filetate, etc.), permit folosirea unor soluţii constructive simple (*fig.6.200*). Eliminarea pieselor injectate din matriţă se face pe acele porţiuni ale piesei care nu afectează filetul.

Piesele injectate cu filet exterior de dimensiuni mai mari nu pot fi realizate cu secţiune plină din cauza contracţiilor mari; la astfel de piese, micşorarea secţiunii se face de regulă prin practicarea unei găuri longitudinale în corpul piesei. Filetul poate fi realizat şi în acest caz în planul de separaţie al matriţei, cu condiţia ca poansonul care formează interiorul piesei filetate să fie extras din piesa injectată (*fig.6.201*). Extragerea poansonului se face prin metodele prezentate anterior pentru matriţele cu bacuri.

6.8.3.6. Matriţe pentru realizarea filetelor prin bacuri

Soluţia de realizare a filetelor prin bacuri se aplică în cazul pieselor injectate având diametre mari sau mijlocii, aceasta constituind cea mai frecventă soluţie constructivă. În *fig.6.202* este prezentat schematic un astfel de sistem.

6.8.3.7. Matriţe pentru obţinerea filetului prin bucşe de deşurubare

Aceste matriţe au avantajul că elimină apariţia urmelor lăsate la închiderea mai mult sau mai puţin perfectă a matriţei de injectat în planul de separaţie, pentru care orice defecţiune de execuţie la sistemul de centrare sau de conducere al matriţei are drept urmare deteriorarea suprafeţei filetului în zona planului de separaţie. Pentru piesele injectate care trebuie să aibă filete precise, această marcare nedorită a filetului în planul de separaţie se elimină prin folosirea sistemului de realizare a filetului cu bucşe de deşurubare (fig.*6.203*). Sistemul este asemănător cu cel utilizat pentru realizarea filetelor interioare cu poanson rotitor, cu deosebirea că, în loc de poanson filetat, se foloseşte o bucşă de deşurubare.

6.8.4. Matriţe etajate

La alegerea maşinii de injectat adecvate pentru obţinerea unor anumite piese injectate trebuie menţinute într-o anumită corelaţie forţa de închidere a matriţei, înălţimea matriţei, cursa de deschidere şi volumul de injectare.

Pentru piesele relativ plane şi cu pereţi subţiri, acest deziderat este rezolvat folosind construcţii speciale de matriţe, matriţele etajate. Aceste matriţe presupun injectarea cuiburilor, care se află în plane de separaţie diferite, prin sistemul de injectare cu canale încălzite. Prin folosirea acestui sistem este posibilă dublarea numărului de cuiburi mărindu-se astfel volumul de injectare, înălţimea matriţei şi cursa de deschiidere, în timp ce forţa de închidere rămâne neschimbată.

În *fig.6.204* este prezentată simplificat o matriţă de injectat etajată cu opt cuiburi cu sistem de injectare cu canale încălzite. Materialul termoplastic topit ajunge printr-o

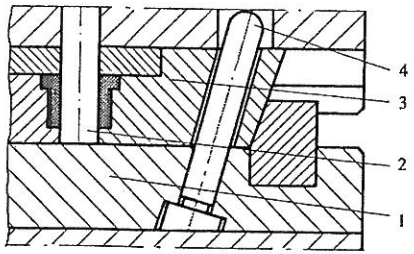


Fig.6.202. Matriță pentru formarea filetului exterior în bacuri: 1 - placă de închidere; 2 - poanson; 3 - bac mobil; 4 - coloană înclinată.

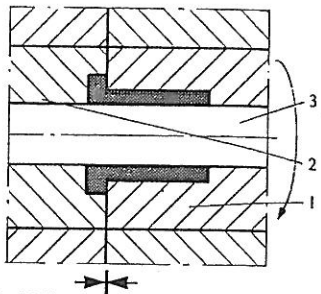


Fig.6.203. Matriță cu bucșă rotitoare: 1 - bucșă rotitoare; 2 - pastilă; 3 - poanson.

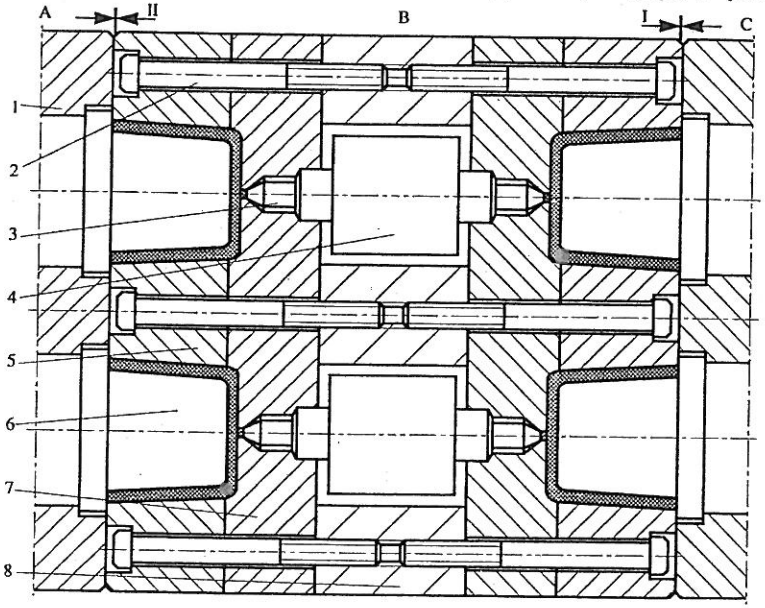


Fig.6.204. Matriță de injectat etajată:
I, II - plane de separație; A - subansamblu matriță mobil;
B - subansamblu matriță mijloc; C - subansamblu matriță fix;
1 - placă portpoanson; 2 - șurub de prindere; 3 - duză punctiformă; 4 - bloc distribuitor;
5 - placă de formare; 6 - poanson; 7 - placă intermediară; 8 - placi distanțiere.

duză centrală încălzită la blocul distribuitor 4 și, prin intermediul duzelor punctiforme 3, la cuiburile matriței. În timpul cursei de deschidere a mașinii, matrița se deschide simultan în planele de separație *I* și *II* permițând aruncarea pieselor de către sistemul de aruncare. Pentru deschiderea matriței în cele două plane de separație există mai multe soluții constructive [3]. În *fig.6.205* este prezentată o soluție constructivă care folosește pentru deschidere un sistem de pârghii. Deschiderea și închiderea celor două plane de separație se realizează prin pârghiile *1, 2, 5* articulate pe pachetele de plăci. La deschiderea matriței prin acest ansamblu de pârghii, pachetul median de plăci *B* este menținut la mijloc între

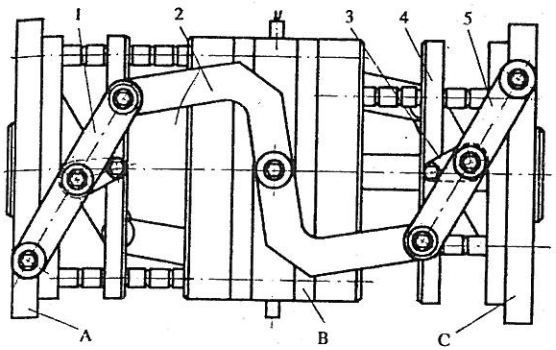


Fig.6.205. Matriță de injectat cu sistem de deschidere prin pârghii: A, C - pachet de plăci exterioare; B - pachet de plăci de mijloc; 1 - pârghie simplă; 2 - pârghie în formă de „S"; 3 - pârghie pentru aruncare; 4 - placă de aruncare; 5 - pârghie simplă.

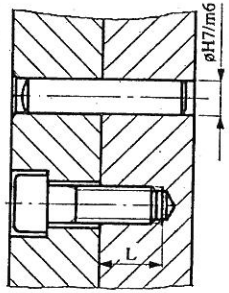


Fig.6.206. Poziționarea și fixarea plăcilor matriței.

pachetele de plăci laterale *A* și *C*. Prin intermediul pârghiei *3* sunt acționate și plăcile de aruncare *4* care realizează aruncarea pieselor de pe poanson.

O altă soluție constructivă pentru mișcarea ordonată a plăcilor unei matrițe etajate folosește un sistem de acționare cu angrenaje și cremalieră [3].

6.9. Condiții tehnice de execuție și asamblare a matrițelor

Elementele componente ale matrițelor de injectat materiale plastice pot fi grupate în raport cu rolul pe care îl îndeplinesc în: elemente active (plăci de formare, cuiburi, poansoane, bacuri), elemente de susținere și de prindere (plăci de prindere, plăci portpoansoane, etc.), elemente pentru centrare și conducere (coloane și bucșe de ghidare, bucșe de centrare), elemente ale sistemului de aruncare (plăci aruncătoare și portaruncătoare, știfturi de aruncare, etc.), elemente de asamblare (șuruburi, știfturi, etc.) și altele.

Toate elementele componente ale matrițelor de injectat se prelucrează de regulă prin operații de așchiere obșnuite (strunjire, frezare, rabotare, găurire, rectificare, etc.) și prin operații de ajustare manuală. Prelucrarea elementelor componente în limitele de abateri prescrise pentru toleranțele de dimensiuni și formă, în general, nu prezintă probleme deosebite din punct de vedere tehnic. O problemă deosebit de importantă o constituie, în afară de executarea ireproșabilă a părților active, asamblarea corectă a matrițelor de injectat. Asamblarea trebuie să asigure fixarea rigidă în poziție reciproc corectă a elementelor fixe, centrarea plăcilor de prindere pe platourile de prindere ale mașinii, conducerea perfectă a celor două semimatrițe, funcționarea fără defecțiuni a sistemului de aruncare, etc.

Caracterul asamblării este determinat aproape în exclusivitate de condițiile de funcționare și exploatare impuse matriței de injectat, respectiv elemetelor conjugate. În acest scop, toleranțele la dimensiuni ale pieselor conjugate trebuie în așa fel stabilite,

încât ajustajul realizat să asigure asamblarea cu strângere sau cu joc, impuse de condiţiile de funcţionare.

Părţile componente ale matriţei de injectat se asamblează între ele formând subansamble şi ansamble demontabile. Asamblarea demontabilă oferă posibilitatea prelucrării individuale a tuturor elementelor componente ale matriţei şi demontării lor în caz de necesitate, fără deteriorare, aceasta constituind un avantaj în cazul în care se impune schimbarea unor elemente, de exemplu, datorită uzurii.

Fixarea în poziţie reciprocă a plăcilor matriţei de injectat se face, aproape în exclusivitate, cu ajutorul şuruburilor cu cap cilindric şi locaş hexagonal (STAS 5144-80). Mărimea şi numărul şuruburilor folosite pentru strângerea plăcilor matriţei se stabilesc de regulă pe baza unor criterii constructive. În cazul unor matriţe foarte mari se recomandă verificarea prin calcul de rezistenţă a mărimii şi numărului de şuruburi adoptate. Strângerea şuruburilor se face prin înşurubare directă în placă. Lungimea de înşurubare se alege în funcţie de diametrul d al filetului şi de materialul plăcii în care se fixează şuruburile. Astfel, pentru oţel se recomandă $L = (1{,}5...2)\ d$. Pentru poziţionarea plăcilor matriţei se folosesc în foarte multe cazuri ştifturi cilindrice (STAS 1599-80), tolerate în câmpul *m6*. Găurile pentru ştifturi se tolerează în câmpul *H7* formând un ajustaj cu strângere foarte mică (*fig.6.206*).

În cazul centrării plăcilor matriţei cu ajutorul ştifturilor cilindrice se folosesc, de regulă, fie două ştifturi aşezate în diagonală (mai ales în partea dinspre duza matriţei), fie patru ştifturi (mai ales în partea mobilă). În general, se recomandă ca găurile pentru ştifturi să fie străpunse. Introducerea ştifturilor în găuri nestrăpunse este posibilă cu condiţia practicării în partea opusă a unei găuri mici pentru ieşirea aerului şi posibilitatea demontarii ulterioare a ştiftului.

Alegerea locului şuruburilor şi ştifturilor pentru fixarea şi centrarea plăcilor matriţei pe aceeaşi linie cu coloanele şi bucşele de ghidare, permite folosirea raţională a suprafeţei plăcilor matriţei în vederea amplasării cuiburilor, orificiilor de răcire, ştifturilor readucătoare, etc.

Elementele de conducere ale matriţei de injectat (coloanele şi bucşele de ghidare) trebuie să aibă precizie dimensională ridicată, rigiditate mare şi rezistenţă la uzură. Abaterea de la coaxialitate a bucşei şi coloanei de ghidare nu trebuie să depăşească 0,012...0,016 mm.

În cazul în care centrarea plăcilor pe matriţă se face cu ştifturi cilindrice, coloanele şi bucşele de ghidare se fixează în placa de formare, respectiv în placa portpoanson (*fig.6.207.a*). Pentru prelucrarea plăcii de formare prin aceeaşi prindere, în pachet, cu placa portpoanson, diametrele de montare ale coloanelor de ghidare şi bucşelor de ghidare sunt identice. Coloanele şi bucşele de ghidare se montează în plăcile matriţei cu ajustaj intermediar *H7/k6* asigurând o asamblare precisă cu montaj uşor. În cazul în care centrarea şi conducerea matriţei se face pe aceeaşi axă şi când toate plăcile se prelucrează în pachet,

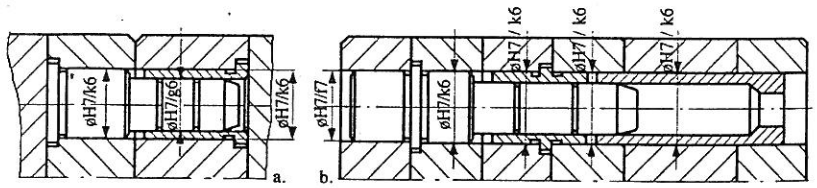


Fig.6.207. Ajustaj pentru elementele de centrare şi de conducere:
a - ajustaj coloană şi bucşă de ghidare;
b - ajustaj coloană şi bucşă cu rol de ghidare şi centrare.

într-o singură prindere, între găurile plăcilor şi elementele de centrare şi de conducere, se recomandă realizarea ajustajelor din *fig.6.207.b*.

Stabilirea corectă a ajustajelor elementelor sistemului de aruncare al pieselor din matriţe de injectat are o importanţă deosebită. Ajustajele recomandate sunt prezentate în *fig.208*. Din *fig.208.c* se poate vedea că ajustajele recomandate pentru ştifturile de aruncare în placa de aruncare sunt ajustaje cu joc foarte mic. Lungimea de ajustare L a ştiftului de aruncare în placa de formare trebuie să fie de $(2{,}5...8)d$, unde d este diametrul ştiftului de aruncare. Astfel, se recomandă pentru ştifturile de aruncare următoarele lungimi în raport cu diametrul lor:

- d = 1...3 mm, $L = (4...8)\ d$;
- d = 3...5 mm, $L = (3...4)\ d$
- d = peste 5 mm, $L = (2{,}5...3)\ d$.

În multe cazuri, cuiburile matriţei de injectat se execută sub formă de pastile care, la rândul lor, se montează în plăcile de formare. Fixarea pastilelor în placă se face prin umeri, cu şuruburi sau prin ştemuire.

Coloanele înclinate folosite la matriţele de injectat cu bacuri, ţinând cont de forţele relativ mari care acţionează asupra lor, trebuie montate în placa matriţei cu ajustaj cu strângere (*fig.6.209*).

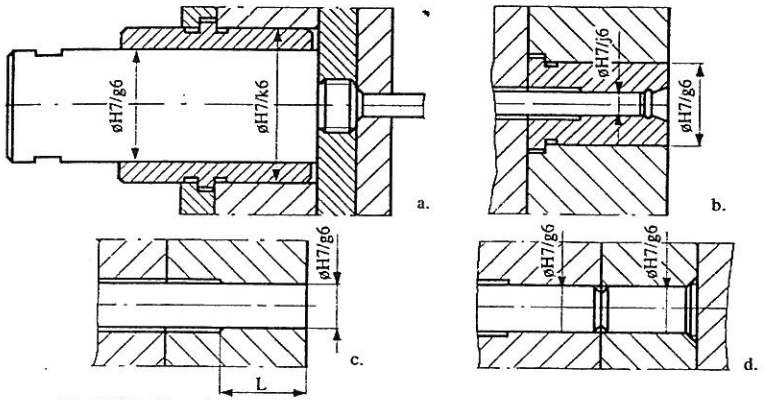


Fig.6.208. Ajustaje recomandate pentru elementele sistemului de aruncare:
a - tijă de aruncare - bucşă de conducere - placă de prindere;
b - aruncător - bucşă centrală - placă; c - aruncător - placă de formare;
d - ştift readucător - ştift tampon în plăci.

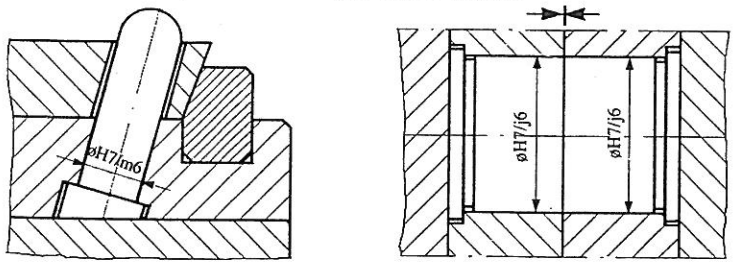


Fig.6.209. Ajustaj pentru coloana înclinată a bacului. *Fig.6.210.* Ajustaj pentru montarea pastilelor.

Pastilele care se fixează în plăcile matriţei necesită montare şi demontare uşoară, de aceea se recomandă un ajustaj intermediar (*fig.6.210*). Montarea lor se face în plăci, în găuri străpunse sau nestrăpunse, fixarea având loc cu şuruburi sau prin ştemuire.

În multe cazuri, configuraţia piesei injectate este realizată mai simplu prin combinarea mai multor pastile şi poansoane executate mai uşor prin procedee de strunjire, frezare, etc. În acest caz ajustajele recomandate sunt cu joc dar mărimea jocului trebuie să ţină seama de tipul materialului plastic şi de posibilitatea acestuia de a curge în interstiţii.

În *fig.6.211* este prezentată soluţia constructivă cu ajustajele recomandate pentru montarea duzei în placa portpoanson, respectiv a inelului de centrare în placa de prindere a matriţei de injectat. Inelul de centrare se montează cu joc, iar duza în ajustaj cu strângere. Pentru fixarea inelului de centrare se folosesc şuruburi, iar duza se asigură împotriva rotirii în anumite cazuri.

Ajustajele cele mai potrivite pentru diferite subansamble ale matriţei de injectat trebuie stabilite de către proiectant în funcţie de condiţiile concrete constructive şi de funcţionarea matriţei.

6.10. Tipizarea matriţelor

Una dintre cele mai adecvate căi pentru optimizarea fabricaţiei de matriţe de injectat o constituie tipizarea lor, respectiv tipizarea elementelor componente ale matriţelor, şi, pe această bază, organizarea fabricaţiei centralizate a elementelor şi ansamblelor tipizate. Eficacitatea în proiectare şi în execuţie a tipizării matriţelor de injectat este confirmată atât de numeroasele exemple din ţările cu industrie dezvoltată, cât şi din experienţa dobândită până în prezent de o serie de intreprinderi din ţara noastră.

Cu toată diversitatea de tipuri, în funcţie de forma geometrică a piesei, suprafaţa frontală de injectare, masa produsului, materialul din care se injectează piesa, etc., toate

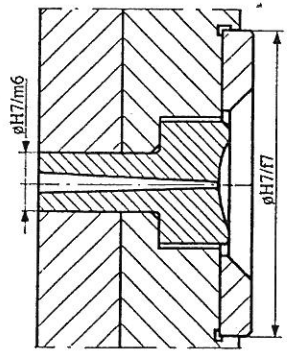


Fig.6.211. Ajustaj pentru duza matriţei şi pentru inelul de centrare.

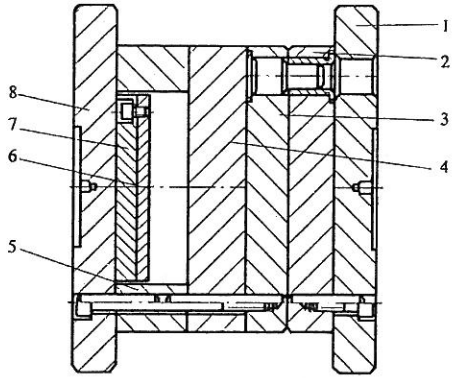


Fig.6.212. Elemente tipizate specifice prezentate în pachet: a - tijă de aruncare - bucşă de conducere - placă de prindere; b - aruncător - bucşă centrală - placă; c - aruncător - placă de formare; d - ştift readucător - ştift tampon în plăci.

matriţele de injectat au în componenţa lor un mare număr de elemente care sunt independente de factorii enumeraţi şi, în consecinţă, se pretează a fi tipizate. Aceste elemente tipizate pot fi utilizate şi pentru matriţele de injectat de construcţie specială.

Elementele componente ale matriţelor de injectat pot fi grupate în:

- părţi active (cuiburi, poansoane, pastile, etc.) care trebuie proiectate şi executate în funcţie de specificul piesei;
- elemente tipizate care, în întregime sau în parte, sunt comune tuturor matriţelor de injectat (duze, coloane şi bucşe de ghidare, inele de centrare, tije de aruncare, etc.);
- organe de asamblare standardizate care se procură de la diferite firme furnizoare (ştifturi, şuruburi, inele O, lanţuri, etc.).

Dintre cele trei grupe de elemente componente amintite, ponderea cea mai mare o reprezintă elementele tipizate.

Elementele tipizate ale matriţelor de injectat pot fi împărţite în două grupe mari:

- elemente tipizate specifice (plăci);
- elemente tipizate comune (bucşe, coloane de ghidare, etc.).

6.10.1. Elemente tipizate specifice

În cadrul elemetelor tipizate specifice sunt cuprinse plăcile matriţei. Plăcile matriţei sunt cuprinse de către constructorii care oferă elemente tipizate în „pachete" (*fig.6.212*). Pachetul conţine, pe lângă plăci, şi elementele de ghidare şi de conducere, elemetele de centrare şi şuruburile de fixare. Aceste elemente sunt diferite pentru diferiţi constructori în funcţie de sistemul constructiv ales (cap.6.5.1).

Ansamblele de plăci tipizate în sistem „pachet" se execută în mai multe forme constructive (*fig.6.213*). Formele constructive pătrate şi dreptunghiulare pot diferi între ele după modalitatea de aşezare a sistemului de aruncare, format din placa aruncătoare şi portaruncătoare, în raport de celelate plăci ale matriţei. Fiecare formă constructivă de matriţă poate exista în mai multe tipodimensiuni. Prin combinarea grosimii diferitelor plăci ale matriţei, care variază între anumite dimensiuni, se pot obţine variante constructive foarte diverse care permit obţinerea în matriţă a diferite piese injectate. Astfel, *în fig.6.214* este prezentat un pachet de plăci circulare în trei tipodimensiuni care, prin varierea grosimii plăcilor conform *tab.6.19*, poate duce la obţinerea de matriţe de injectat cu diferite înălţimi.

6.10.2. Elemente tipizate comune

În cazul unei matriţe de injectat pentru toate tipodimensiunile se întâlnesc elemente comune (*fig.6.215, fig.6.216*).

Elementele tipizate comune cuprind: elemente de centrare, elemente de conducere şi ghidare, duze de injectare, elemente de aruncare şi readucere, elemente ale sistemului de temperare, etc.

Fiecare element de tipizare comun este introdus în norma de tipizare astfel încât să fie pus în legătură dimensională cu plăcile matriţei tipizate. Prin varierea unor dimensiuni caracteristice pot exista diferite tipodimensiuni ale aceluiaşi element (*fig.6.217*).

Elemente tipizate comune au fost extinse de către unele firme constructoare (DME,

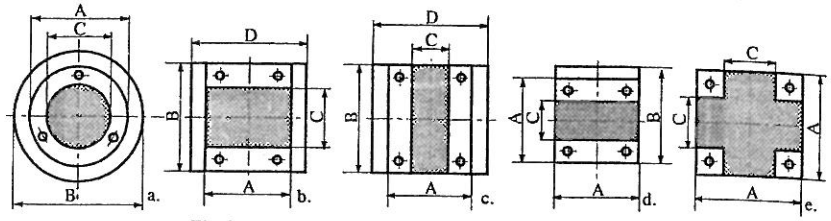


Fig.6.213. Forme constructive de ansamble de plăci:
a - circulare; b, c - dreptunghiulare; d, e - pătrate; A, B, C, D - dimensiuni.

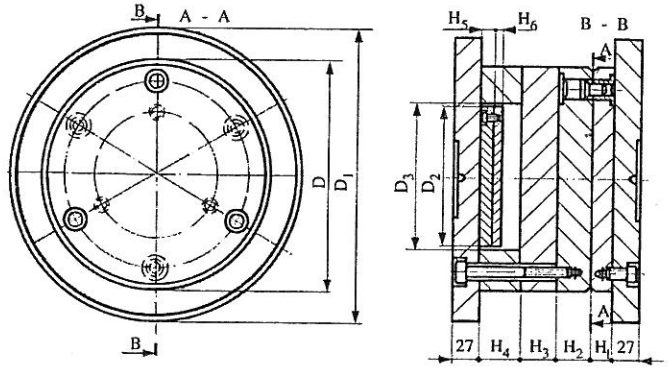


Fig.6.214. Matriță tipizată circulară.

Tab.6.19. **Dimensiuni ale plăcilor matrițelor tipizate circulare.**

Dimensiuni	D [mm]	D_1 [mm]	D_2 [mm]	H_1 [mm]	H_2 [mm]	H_3 [mm]	H_4 [mm]	H_5 [mm]	H_6 [mm]
1	186	240	123	22...97	22...97	32...37	42...97	12	8
2	236	300	148	27...97	27...97	37...42	42...92	12...15	8...12
3	296	360	196	27...97	27...97	42...97	42...97	12...15	8...12

H_i = 22, 27, 37, 42, 47, 57, 67, 77, 87, 97

Hasco, Strack, etc.) chiar la unele elemente constructive folosite mai puțin frecvent: subansamble cu cârlig pentru deschiderea în trepte, blocuri distribuitoare pentru matrițe cu canale încălzite, subansamble pentru aruncarea în trepte, sisteme constructive pentru aruncarea în trepte, sisteme constructive pentru matrițe cu deschiderea prin bacuri, etc.

Astfel, fabricantul de elemente tipizate pune la dispoziție constructorului de matrițe subansamble constructive pentru diferite cazuri practice pentru realizarea unei matrițe de injectat. La proiectarea unei matrițe de injectat cea mai mare parte a elementelor constructive se aleg din normele de tipizare. După studierea piesei injectate și stabilirea concepției matriței (număr de piese, suprafața de injectare, aruncarea, etc.) se alege din norma de tipizare forma constructivă și tipodimensiunea corespunzătoare. Elemente tipizate comune în funcție de sistemul constructiv se aleg de asemenea din norma de tipizare. Se va proiecta numai ce ține de forma piesei (poansoane, pastile, etc.), sistemul de injectare (rețea de injectare, duze, etc.), sistemul de răcire, locul aruncătoarelor, etc.

La execuție, matrițeria având la dispoziție în magazie elementele tipizate introduse în proiect („pachetul" de plăci și elementele tipizate comune) se concentrează numai

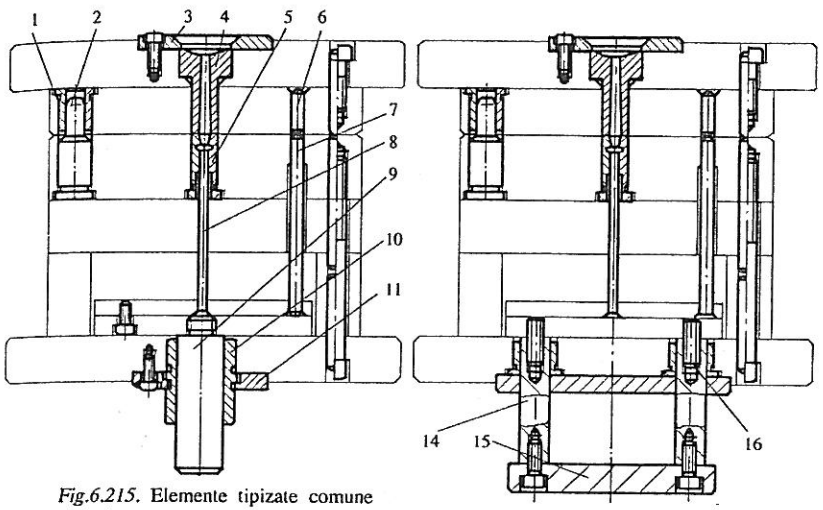


Fig.6.215. Elemente tipizate comune la o matriță de injectat:
1 - bucșă de ghidare; 2 - coloană de ghidare; 3 - inel de centrare în partea fixă; 4 - duză de injectare; 5 - bucșă centrală; 6 - știft tampon; 7 - știft readucător; 8 - aruncător central; 9 - tijă de aruncare; 10 - bucșă de ghidare; 11 - inel de centrare în partea mobilă.

Fig.6.216. Elemente tipizate comune la o matriță de injectat cu sistem de aruncare cu placă tampon:
14 - tijă de aruncare; 15 - placă tampon; 16 - știft filetat.

pe execuția părților active (poansoane, cuib), a sistemului de răcire, a aruncătoarelor, etc.

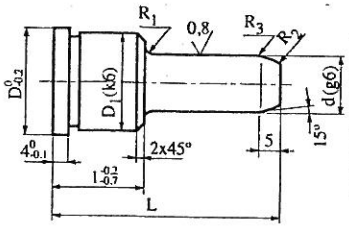
Tipizarea matrițelor de injectat conduce în mod evident la o serie de avantaje tehnico - economice:

- reducerea substanțială a timpului necesar proiectării;
- asigurarea unei concepții unitare a matrițelor în baza unei documentații tehnice verificate în practică;
- reducerea duratei de execuție a matrițelor prin existența pe stoc a pieselor tipizate realizate în serie;
- reducerea prețului de cost a matrițelor.

În *fig.6.218* este prezentată o matriță de injectat realizată din elemente tipizate prin folosirea unui „pachet" de plăci și a elementelor tipizate comune.

6.11. Tratamente termice și termochimice recomandate matrițelor

Condițiile de exploatare a matrițelor de injectat se caracterizează prin: presiuni foarte mari, acțiunea corozivă asupra oțelurilor, acțiunea de uzură datorită ingredientelor adăugate în materialele plastice (pigmenți, substanțe anorganice, etc.), forțe de compresie mari exercitate de platourile de închidere ale mașinii de injectat.



l	21	26	31	36	41	46	56						
d	16	17		18	20		22	25					
D_1	22			28			34						
D	26			32			38						
L	40	50	60	70	80	90	110	120	130	140	150	160	170

Fig.6.217. Coloană de ghidare tipizată.

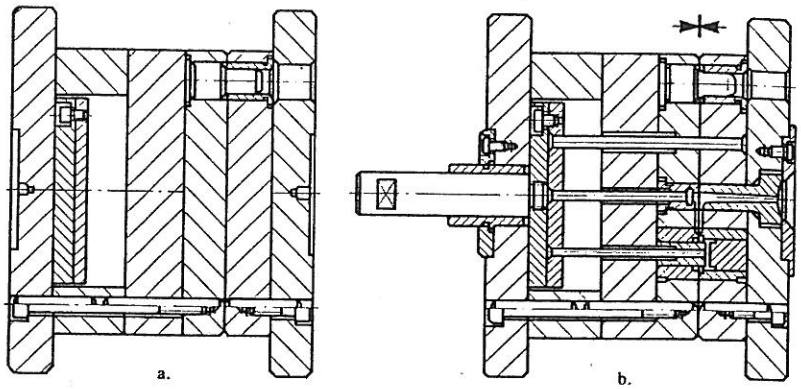


Fig.6.218. Matriță de injectat cu elemente tipizate:
a - „pachet" de plăci; b - matriță cu elemente tipizate.

6.11.1. Tratamente termice

Tratamentele termice sunt procese de prelucrare a metalelor și aliajelor prin încălzire și răcire după anumite reguli și în condiții bine determinate, în scopul modificării proprietăților mecanice, fizice sau tehnologice ale materialelor. Condițiile în care se efectuează un tratament termic depinde de natura materialului metalic și de sopul urmărit. Schimbarea proprietăților materialelor metalice în urma tratamentului termic depinde de modificările care au loc în structura lor. Tratamentele termice aplicate oțelurilor, folosite în construcția matrițelor, pot fi: călirea, revenirea, recoacerea.

6.11.1.1. Călirea

Tratamentul termic al oțelurilor prin care se urmărește obținerea unei stări în afară de echilibru, caracterizată de existența martensitei în calitate de constituent principal, se numește *călire*.

În esență, călirea unui oțel constă în încălzirea acestuia astfel încât să se producă parțial sau total austenitizarea, urmată de o răcire rapidă prin care să se realizeze transformarea martensitică a austenitei. Pentru a obține acest lucru este necesar ca viteza de

răcire a oțelului să fie suficient de mare pentru ca austenita să nu se descompună în intervalul perlitic sau bainitic.

Încălzirea oțelurilor în vederea călirii se face până la temperaturi ce depind de compoziția lor chimică. Pentru oțelurile carbon, temperatura de încălzire se alege în conformitate cu diagrama din *fig.6.219*. Oțelurile hipoeutectoide se încălzesc la temperaturi $t_{căl} = Ac_3 + (30...50)°C$, iar cele hipereutectoide la temperaturi $t_{căl} = Ac_1 + (20...40)°C$. Pentru oțelurile aliate temperatura de încălzire se alege în funcție de valoarea temperaturilor Ac_1 și Ac_3 determinate experimental și de influența pe care o au elementele de aliere asupra capacității de călire a oțelului. Durata menținerii la temperatura maximă de încălzire, pentru uniformizarea temperaturii în secțiunea piesei, se alege din tabele pe baza formei și dimensiunilor piesei, compoziției chimice a materialului și condițiilor de încălzire.

Răcirea rapidă a pieselor crează diferențe mari de temperatură între diferitele puncte ale unei piese. Din această cauză vor rezulta tensiuni interne care se datoresc pe de o parte contracției diferite a diverselor straturi de metal, iar pe de altă parte faptului că transformarea martensitică se realizează cu dilatare. Tensiunile interne pot depăși limita de elasticitate și crează deformații permanente care se manifestă prin modificarea formei și dimensiunilor ei sau pot depăși rezistența la rupere amortizând fisurile în piesa călită.

Pentru aprecierea capacității de călire a oțelurilor se introduce noțiunea de *călibilitate*, definită ca fiind adâncimea de pătrundere a călirii. Există mai multe procedee de călire.

Călirea obișnuită sau călirea într-un singur mediu. Piesa încălzită la temperatura de călire se răcește rapid într-un mediu cu o viteză de răcire mai mare decât cea critică. Se aplică în cazul pieselor mici din oțel carbon sau oțel aliat. Mediul de răcire este apa pentru piesele din oțel carbon și uleiul pentru piesele din oțeluri slab aliate.

Călirea întreruptă sau călirea în două medii. Răcirea piesei se realizează în două etape. În prima etapă răcirea piesei în mediul de răcire se realizează cu viteză mare v_1, până la temperatura prescrisă, iar în etapa a doua în al doilea mediu de răcire se realizează o răcire mai lentă cu viteza $v_2 < v_1$. Mediul *1* de răcire este reprezentat de apă, iar mediul *2* de răcire de ulei. Procedeul se aplică pieselor din oțel carbon de scule (OSC 7...11).

Călirea superficială. Încălzirea rapidă a unei piese permite ridicarea temperaturii stratului superficial peste cea a punctului critic A_3 (*fig.6.219*). Dacă unei asemenea încălziri îi urmează imediat o răcire rapidă este posibil ca în stratul superficial să se realizeze transformarea martensitică a austenitei, obținându-se astfel o călire superficială.

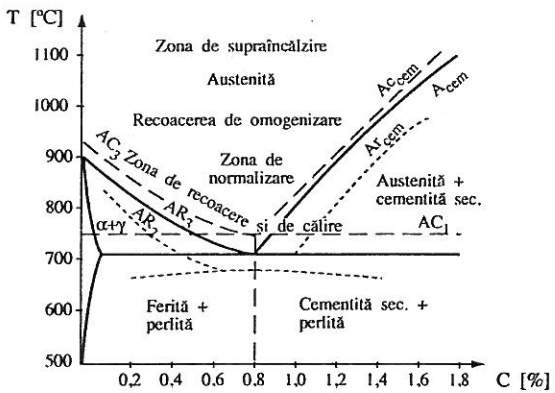


Fig.6.219. Încălzirea oțelurilor în vederea călirii.

Oțelurile cărora li se aplică un astfel de tratament conțin carbon între 0,35...0,5%, limita superioară fiind dictată de necesitatea evitării fisurilor de călire în stratul durificat.Încălzirea pieselor se poate realiza cu flacără oxiacetilenică sau prin inducție cu curent de înaltă frecvență.

Călirea în trepte sau izotermă. Tratamentul se aplică oțelurilor carbon sau slab aliate călibile în apă.

6.11.1.2. Revenirea

Oțelurile călite sunt de obicei mai dure decât este necesar și în general prea fragile pentru a putea fi exploatate în bune condiții. De aceea ele se supun unui tratament termic, denumit *revenire*, constând dintr-o încălzire sub punctul de transformare Ac_1, urmat de o răcire relativ rapidă.

Prin tratamentul termic de revenire oțelul călit, aflat mult în afara echilibrului, tinde să se apropie de acesta, ceea ce are drept consecință diminuarea fragilității, a durității și a rezistenței la rupere; în același timp se produce o mărire a alungirii și rezilienței. Încălzirea oțelului tinde să realizeze echilibrul fizico-chimic și echilibrul mecanic. Ceea ce se realizează în cursul tratamentului de revenire este echilibrul structural. Revenirea depinde de trei factori principali: starea inițială a oțelului călit, durata și temperatura. Produsele formate prin revenire sunt evident influențate de starea inițială a aliajului călit (existența martensitei, austenitei, altor constituenți).

În ceea ce privește durata revenirii se constată că procesele de transformare sunt active într-un interval de timp (aproximativ 30 min.) existând o durată limită de revenire peste care este neeconomic să se continue tratamentul.

Temperatura de revenire are o influență mult mai însemnată asupra revenirii. În consecință durata revenirii va fi cea a duratei limită de revenire, iar temperatura în jur de 500...675°C (revenire înaltă), cu excepția oțelurilor de scule la care, pentru menținerea unei durități mari, revenirea se va face la o temperatură scăzută 150...250°C (revenire joasă).

Tratamentul termic complet, alcătuit dintr-o călire urmată de o revenire înaltă este denumit *îmbunătățire.*

6.11.1.3. Recoacerea

Recoacerea este definită ca fiind tratamentul termic care urmărește dirijarea aliajului în sensul apropierii de starea de echilibru fizico-chimic și structural.

Prin recoacere se modifică structurile în afară de echilibru ce au rezultat din tratamentele și prelucrările termice sau mecanice anterioare. Starea recoaptă presupune obținerea unor valori mari ale caracteristicilor de ductibilitate și a unor valori mici ale caracteristicilor de rezistență.

Ciclul termic necesar realizării recoacerii cuprinde:

- încălzirea piesei sau semifabricatului, la o anumită temperatură, denumită *temperatură de recoacere;*
- menținerea izotermă la această temperatură un anumit timp sau oscilarea în jurul acestei temperaturi;
- răcirea, în general lentă (aer, cuptor, etc.).

Există mai multe tipuri de recoaceri: de omogenizare, de recristalizare, etc.

6.11.2. Tratamente termochimice

Tratamentele termochimice sunt tratamente termice realizate într-un mediu chimic. Aceste tratamente provoacă în mediul tratat atât modificări structurale cât și modificări ale compoziției chimice ale straturilor superficiale, ca urmare a îmbogățirii acestora cu unul sau mai multe elemente chimice aflate în mediul în care se efectuează tratamentul.

Scopul unui tratament termochimic constă în obținerea de proprietăți diferite în diferitele zone ale piesei tratate. Astfel, se poate realiza o îmbinare favorabilă a unor proprietăți, cum ar fi: tenacitatea miezului piesei, duritatea și rezistența la uzură a stratului superficial.

Există mai multe tipuri de tratamente termochimice: cementarea, nitrurarea, cianizarea și carbonitrurarea.

6.11.2.1. Cementarea

Cementarea este tratamentul termochimic constând din îmbogățirea cu carbon a straturilor superficiale ale pieselor din oțel cu conținut scăzut de carbon, prin încălzirea pieselor la o anumită temperatură, într-un mediu capabil să cedeze carbon.

Oțelurile supuse cementării se numesc *oțeluri de cementare* și conțin sub 0,2% C. Stratul cementat atinge aproximativ 0,9% C. Cementarea se poate face în mediu solid, mediu lichid și mediu gazos.

Cementarea în mediu solid. Mediul de cementare este alcătuit dintr-o substanță bogată în carbon (mangal) și o substanță de activare a procesului (carbonat de bariu). Cementarea se realizează prin împachetarea pieselor de oțel în amestecul de cementare, în cutii de oțel, care se introduc în cuptor și se încălzesc la temperatura de cementare. Adâncimea de pătrundere depinde de durata tratamentului.

Cementarea în mediu lichid. Mediul de cementare constă în săruri topite, bogate în carbon. Prin disocierea lor se obține carbon activ care pătrunde în suprafața oțelului. Procedeul are o răspândire restrânsă.

Cementarea în mediu gazos. Mediul gazos folosit constă dintr-un amestec reducător și adaosuri de hidrocarburi. Prin reacții de disociere se obține carbon activ ce pătrunde prin suprafața oțelului. Cementarea în mediu gazos are o mare răspândire, deoarece prezintă avantaje incontestabile: proces de cementare accelerat și condiții bune de lucru. Adâncimea stratului cementat variază între 1....2 mm.

Dacă se urmărește ca anumite porțiuni ale suprafețelor pieselor să rămână netratate, acestea se acoperă cu argilă sau cupru electrolitic.

În general, după cementare, piesele se supun unui dublu tratament termic, deoarece piesa este constituită din două straturi de oțel cu conținut scăzut de carbon și stratul superficial bogat în carbon.

6.11.2.2. Nitrurarea

Nitrurea este un tratament termochimic constând din îmbogățirea stratului superficial al pieselor de oțel cu azot. Pentru aceasta, piesele se încălzesc la temperaturi inferioare punctului Ac_1 (aproximativ 525°C) într-un curent de amoniac gazos (*fig.6.219*).

Nitrurarea se aplică după tratamentul de călire și revenire. Durata tratamentului variază de la câteva ore la câteva zile, grosimea stratului nitrurat putând atinge 0,8 mm.

Avantajul acestui tratament constă în duritatea ridicată a stratului nitrurat, ceea ce asigură o mare rezistență la uzură. În plus, stratul nitrurat prezintă și o bună rezistență la coroziune. Nitrurarea este însoțită de o ușoară umflare a suprafeței tratate, ceea ce obligă la corectarea dimensiunilor obținute în urma prelucrărilor mecanice.

Principalul dezavantaj al nitrurării constă în costul său ridicat. Nitrurarea se aplică pieselor din oțeluri aliate, oțeluri pentru nitrurare, dar și fontelor.

6.11.2.3. Cianizarea

Cianizarea este un tratament termochimic prin care se realizează îmbogățirea simultană a straturilor superficiale ale pieselor din oțel carbon sau aliat cu carbon și azot. Tratamentul se face prin încălzirea pieselor la aproximativ 830°C într-o baie lichidă, formată de obicei din cianură de sodiu și alte săruri. Conținutul de carbon este de 0,8% pe o adâncime de câteva zecimi de milimetri, iar conținutul de azot de 0,4% pe o adâncime mai mică. Durata tratamentului este de maximum o oră, după care se poate aplica un tratament termic.

6.11.2.4. Carbonitrurarea

Carbonitrurarea este un tratament termochimic asemănător cianizării, însă efectuat în mediu gazos. Oțelul supus tratamentului are un conținut maxim de carbon de 0,5%. Piesele carbonitrurate se supun unui tratament termic de călire ce provoacă o creștere însemnată a durității stratului superficial.

În afara tratamentelor termochimice menționate, în practică se folosesc și alte tipuri de tratamente ce urmăresc îmbogățirea stratului superficial cu Cr, B, S, etc.

6.12. Materiale folosite la construcția matrițelor

Injectarea pieselor din materiale termoplastice în matriță presupune folosirea mai multor tipuri de materiale: oțeluri, aliaje neferoase, materiale nemetalice. La serii de fabricație mari, de la aproximativ 5 mii până la câteva milioane, se utilizează de obicei oțelul.

6.12.1. Oțeluri

Un oțel pentru construcția matrițelor de injectat trebuie să îndeplinească din punct de vedere al fabricației următoarele condiții: prelucrabilitate bună, calitate bună a suprafeței, tratamente termice simple, deformații reduse, posibilități de deformare la rece (în cazuri speciale). Oțelurile folosite la fabricarea matrițelor pot fi împărțite în următoarele grupe (*tab.6.20*):

Tab.6.20. Oțeluri pentru executarea matrițelor de injectat.

Tipul oțelului și grupa de utilizare	Marca	STAS	Forjare	recoacere		normalizare		Tratament cementare		călire I		recoacere		călire II		revenire	
				°C	R	°C	R	°C	R	°C	R	°C	R	°C	R	°C	R
Oțeluri de cementare: prelucrare prin presare la rece	OLC10	880-86	1150-850	550-600	u	880-900	a	880-930	a,A	880-900	A	-	-	750-780	A	150-180	a
	OLC15	880-86	1150-850	550-600	u	880-900	a	880-930	a,A	880-900	A	-	-	770-820	A	150-180	a
	15Cr08	791-80	1180-800	650-700	c	870-900	a	870-900	A,P	860-890	A,U	630-650	c	770-820	A,U	170-200	a
	18MnCr10	791-80	1180-800	650-680	c	860-890	a	870-900	U,P	860-890	U	650-680	c	810-830	U	170-200	a
	15CrN15	791-80	1180-800	650-700	c	850-880	a	870-900	U,P	840-870	A,U	640-670	c	760-800	U	170-200	a
	21MoN35	791-80	1180-800	650-700	c	830-860	a	870-900	U,P	820-850	U	650-700	c	810-830	U	170-200	a
	20MoCrN13	791-80	1180-800	650-700	c	860-890	a	880-900	U,P	830-850	U	650-700	c	730-760	U	170-200	a
	18MnCrN30	791-80	1180-800	650-700	c	860-890	a	880-900	U,P	820-850	U	650-680	c	800-820	U	170-200	a
oțel de nitrurare	38MoCrAl09	791-80	1180-800	710-740	c	930-960	a	-	-	920-950	U,A,C	-	-	-	-	620-630	A,U
oțeluri de carbon de scule	OSC8	1700-86	1050-850	740-760	c	860-900	a	-	-	780-910	A	-	-	-	-	160-200	a
	OSC9	1700-86	1075-860	740-860	c	860-900	a	-	-	780-810	A	-	-	-	-	160-200	a
	OSC10	1700-86	1075-860	760-780	c	860-900	a	-	-	760-790	A	-	-	-	-	160-200	a
	OSC11	1700-86	1075-860	760-780	c	860-900	a	-	-	760-790	A	-	-	-	-	160-200	a
	OSC12	1700-86	1075-860	760-780	c	860-900	a	-	-	760-790	A	-	-	-	-	160-200	a
Oțeluri de îmbunătățire: oțeluri pt. prelucrare la cald	MoCrN15	3611-86	1050-900	680-700	c	820-860	a	-	-	840-880	U	-	-	-	-	520-560	a
	MoSCr30	3611-86	1100-900	700-730	c	900-930	a	-	-	880-900	U	-	-	-	-	500-650	a
	WCrN40	3611-86	1050-850	660-680	c	-	-	-	-	840-870	U	-	-	-	-	200-300	a
oțeluri pt. scule cu adâncime mare	MCrW14	3611-86	1050-850	770-790	c	870-900	a	-	-	800-830	U	-	-	-	-	160-220	a
	200Cr120	3611-86	1050-850	810-840	c	-	-	-	-	930-960	b_i,U,a	-	-	-	-	210-230	a
	WM18	3611-86	1000-850	690-720	c	820-850	a	-	-	750-780	U	-	-	-	-	180-250	a
oțeluri carbon de calitate	OLC45	880-86	1100-850	680-700	c	830-850	a	-	-	830-850	A sau U	-	-	-	-	550-650	a
	OLC55	880-86	1050-850	680-700	c	810-830	a	-	-	810-830	A sau U	-	-	-	-	550-650	a
	OLC60	880-86	1050-850	680-700	c	800-820	a	-	-	800-820	U	-	-	-	-	550-650	a
oțeluri aliate pt. îmbunătățire	41MoCr11	791-80	1180-800	700-750	c	850-880	a	-	-	820-850	U	-	-	-	-	500-600	a,A,U
	50VCr11	791-80	1180-800	680-720	c	860-890	a	-	-	840-870	U	-	-	-	-	550-650	A
oțel anticoroziv	40Cr130	3583-80	1100-800	870-900	c	-	-	-	-	980-1040	U,A	-	-	-	-	200-300	a

LEGENDĂ: *R - variante de răcire; a - aer; U - ulei; c - cuptor; A - apă; b_i - baie izotermă.*

- oţeluri de uz general;
- oţeluri de cementare;
- oţeluri de nitrurare;
- oţeluri pentru călire;
- oţeluri de îmbunătăţire;
- oţeluri anticorozive.

6.12.1.1. Oţeluri de uz general

Oţelurile de uz general pentru construcţii, STAS 500/2-86, sunt uşor prelucrabile prin aşchiere, se sudează bine, au rezistenţa şi tenacitatea corespunzătoare. Tablele din aceste oţeluri se pot debita prin tăiere oxiacetilenică fără ca marginile tăiate să se călească. Aceste oţeluri pot fi utilizate în condiţii bune pentru confecţionarea diferitelor plăci ale matriţelor care nu vin în contact cu materialul plastic, cum ar fi: placa de prindere, placa intermediară, placa distanţieră. Pentru a asigura rezistenţa necesară la solicitarea prin compresiune de regulă se utilizează marca de oţel OL60. Pentru matriţele mai mici, cu solicitări mai reduse, pot fi utilizate şi mărcile OL42 şi OL50. Din aceste oţeluri se mai pot confecţiona şi alte piese ca: şuruburi de fixare, dopuri filetate, prelungitoare, suporţi, etc.

6.12.1.2. Oţeluri pentru cementare

Sunt oţeluri cu conţinut redus de carbon (0,07...0,18%). Prin carburarea suprafeţei exterioare, conţinutul de carbon creşte la 0,8...0,9%, adâncimea stratului carburat fiind cuprinsă între 0,5...1,2 mm. După călire stratul exterior devine foarte dur (58...62 HRC), având rezistenţă mare la uzură, păstrând în acelaşi timp tenacitatea miezului.

La utilizarea oţelurilor de cementare se ţine seama de două procedee de prelucrare: prelucrarea prin aşchiere şi presarea la rece.

Oţeluri pentru cementare folosite la prelucrarea prin aşchiere. Practic, pentru prelucrarea prin aşchiere se pot utiliza toate oţelurile de cementare. Datorită faptului că matriţele de injectat lucrează în condiţii grele de exploatare vor fi alese acele oţeluri de cementare care pe lângă o suprafaţă dură şi rezistenţă la uzură în urma călirii, asigură deformabilitate minimă şi o rezistenţă corespunzătoare a miezului chiar şi pentru matriţe de dimensiuni mari.

În această categorie se utilizează atât oţelurile carbon de calitate pentru cementare cât şi oţelurile aliate pentru cementare. Pentru confecţionarea coloanelor de ghidare, a bucşelor de ghidare, a coloanelor înclinate, etc. se recomandă oţelul carbon de calitate OLC15.

Pentru cuiburile matriţei, poansoane şi alte piese ale matriţei supuse la solicitări mari se recomandă oţeluri aliate pentru cementare.

Datorită solicitărilor locale mari la compresiune şi încovoiere la serii mari de piese injectate este necesar ca piesele matriţei să aibă pe lângă o duritate superficială ridicată pentru a rezistă la uzură şi maximum de tenacitate în miez. Pentru aceasta se execută un tratament termic de îmbunătăţire, a structurii miezului, respectiv o dublă călire. Oţelurile recomandate pentru acest lucru sunt: 18MC10, 15CN15, 21MoMC12, 20MoN35, 18MoCN13, 13CN30.

Cotele mici indicate pentru reperele injectate impun în unele cazuri oţeluri care în urma tratamentului termic au o deformare minimă, cum ar fi: 21TMC12, 28TMC12, 16CNW10. Aceste oţeluri fiind cu granulaţie fină pot fi supuse tratamentelor termice simple după cementare şi sunt indicate pentru piese greu solicitate.

Oţeluri pentru cementare care se prelucrează prin deformare la rece. Aceste oţeluri se recomandă atunci când se construiesc matriţe cu mai multe cuiburi şi când suprafeţele cuiburilor sunt greu de realizat prin aşchiere. Pentru realizarea cuiburilor prin presare la rece se foloseşte un poanson din oţel rezistent la presiune având forma cuibului ce urmează a fi realizat.

Posibilitatea prelucrării prin presare la rece a diferitelor oţeluri va fi stabilită prin rezistenţa obţinută după recoacerea de înmuiere şi prin existenţa unei granulaţii fine feritice. Structura de recoacere trebuie să fie lipsită de perlită lamelară. Duritatea oţelului trebuie să fie scăzută şi să permită prelucrarea unor amprente adânci, fără recoacerea intermediară.

Ca regulă se menţionează că un oţel poate fi bine prelucrat pe adâncime când produsul $1{,}25 \cdot HB \leq 300$ kgf/mm^2. Cu cât diferenţa între $1{,}25 \cdot HB$ şi 300 kgf/mm^2 este mai mare, cu atât se pot prelucra cuiburi mai adânci şi nu este necesară o recoacere intermediară. La diferenţe mai mici a valorilor de mai sus cuiburile prelucrate prin presare la rece trebuie să fie mai mici.

Pentru presare la rece sunt recomandate următoarele mărci de oţeluri: OLC10, OLC15, 15CO8. Oţelurile OLC10 şi OLC15 în stare normalizată au o duritate de 120...140HB, pretându-se uşor presării la rece pentru cuiburi mici, fără recoacere intermediară.

După cementare, călire şi revenire, se obţine în miez o rezistenţă de 42...50kgf/mm^2, o duritate în miez de 110...140HB şi în stratul cementat o duritate de minimum 56HRC.

Din analiza acestor date, rezultă că aceste oţeluri se pot utiliza pentru piese cementate prelucrate prin deformare la rece, care nu necesită proprietăţi de mare rezistenţă la miez.

Se execută în general cuiburi în pastile montate în plăci cu locaşuri multiple, plăci călite preluând eforturile de compresiune la închiderea matriţei, iar cuiburile preluând efectul de uzură şi presiunea materialului plastic.

Oţelul aliat 15CO8 datorită durităţii în stare recoaptă se poate prelucra uşor prin deformare plastică la rece, având în acelaşi timp caracteristici mai bune în miez decât oţelurile carbon. După cementare, călire şi revenire se obţin o duritate în miez de 300HB, o rezistenţă de 70kgf/m^2, iar în strat o duritate de 54...62HRC.

6.12.1.3. Oţeluri pentru nitrurare

Pretenţiile dimensionale şi rezistenţa ridicată la uzură impuse matriţelor de injectat sunt satisfăcute de folosirea în consrucţia cuiburilor a oţelurilor de nitrurare. Rezistenţa la uzură a acestor oţeluri poate atinge 1050 HV.

Pentru nitrurare se folseşte oţelul aliat 38MoCrA09 şi 38MoCr11 care în urma tratamentului de îmbunătăţire primeşte o duritate în micz de 300...370 HB, iar după nitrurare se obţine o duritate în stratul superficial de 850...1050 HV.

Pentru matriţele de injectat sunt suficiente adâncimi de nitrurare de până la 0,3 mm. Matriţele nitrurate, datorită stratului dur şi subţire, sunt sensibile la tratamente inadecvate.

Unele materiale termoplastice (policarbonaţii) reacţionează cu oţelurile aliate cu aluminiu, astfel că rezultă o schimbare a culorii materialului, din acest motiv injectarea acestor materiale nefiind recomandată. Duritatea optimă şi rezistenţa maximă la uzură se obţin la oţelurile nitrurate în gaz, nu pe suprafaţa piesei, ci cu câteva sutimi de milimetru în adâncime. Stratul superficial este foarte sfărâmicios. Acest strat se va îndepărta prin lustruire, după ce în prealabil a fost prevăzut la prelucrarea prin aşchiere, pentru a se putea menţine cotele precise solicitate de matriţa respectivă.

6.12.1.4. Oțeluri pentru călire

La injectarea unor piese care necesită inserții metalice în oțelurile de cementare pot apare degradări din cauza suprasolicitărilor locale, ca urmare a introducerii greșite a inserțiilor. În aceste cazuri se folosesc oțeluri pentru călire. De asemenea, în cazul matrițelor de injectat cu cuiburi plate se recomandă tot oțelurile pentru călire. Datorită deformațiilor care apar în urma tratamentului termic de călire, în cazul cuiburilor cu configurație complicată, se folosește prelucrarea prin electroeroziune după tratament termic. Solicitările mari la care sunt supuse aceste piese necesită obținerea unei structuri foarte fine care se realizează prin alegerea unei temperaturi minime de călire și menținerea scurtă la aceste temperaturi.

În construcția matrițelor de injectat, ca oțeluri pentru călire, se folosesc oțelurile carbon de scule: OSC6, OSC9, OSC10, OSC11, OSC12. Aceste oțeluri au călibilitate mică. La diametre (grosimi) mai mari de 5 mm duritatea scade brusc sub 60 HRC la 2...4 mm distanță de suprafață. Aceste oțeluri nefiind recomandate pentru execuția sculelor cu grosimi mai mari de 20...25 mm, vor fi folosite la piese ca: bucșe de ghidare, bucșe de conducere, bucșă centrală, aruncătoare tubulare, poansoane de dimensiuni mici. Piesele de forme complicate executate din aceste oțeluri se călesc în două medii (călire întreruptă) sau li se aplică o călire în trepte (izotermă). Aceste procedee reduc riscul deformărilor și al apariției fisurilor.

De asemenea, în construcția matrițelor de injectat, ca oțeluri pentru călire, se folosesc oțeluri aliate pentru scule cu adâncime de călire mare: 200CrC120, 97Mn, CrW14, VMn18. Aceste oțeluri oferă pieselor o suprafață foarte dură și înacelași timp o mare rezistență în miez. Se recomandă pentru matrițe cu adâncimea cuibului mare și cu precizie ridicată, prezentând deformații foarte mici în urma tratamentului termic. Oțelul 200Cr120 este ledeburitic și are caracteristici și tratament termic deosebit de al altor oțeluri (*tab.6.20*). La acest oțel, pentru ca dimensiunile pieselor după călire și revenire să nu difere de cele inițiale (în stare recoaptă) se recomandă aplicarea unei călîri de la 1050...1060°C urmată de o revenire la 475...500°C. După o primă revenire la 475°c se măsoară dimensiunile și numai dacă mai este necesară o creștere a acestora se repetă revenirea, descompunând o nouă porție de austenită reziduală.

6.12.1.5. Oțeluri de îmbunătățire

O serie de motive ca: imposibilitatea eliminării deformărilor, lipsa utilajelor de rectificare a profilelor complicate și de corectare a găurilor, necesitatea executării cuiburilor direct în placa de formare a matriței, au dus la necesitatea folosirii oțelurilor de îmbunătățire. După degroșarea prin așchiere, piesele se călesc și se revin înalt obținându-se o duritate de 250...350HB, alegerea durității făcându-se după posibilitățile de finisare. Atunci când toleranțele pieselor fabricate o permit se pot face după călire reveniri joase, durităile obținute fiind mai ridicate, după care urmează doar operația de lustruire. Avantajele utilizării acestor materiale sunt: rapiditate în executarea matriței, eliminarea riscului apariței deformărilor după tratamentul termic, posibilitatea executării de remedieri la matriță în cazul în care nu s-au obținut dimensiunile dorite de la prima încercare.

Oțelurile de îmbunătățire recomandate pot fi oțelurile carbon de calitate: OLC45, OLC55, OLC60. Oțelurile carbon de calitate se utilizează în stare îmbunătățită pentru diferite piese de matriță: plăci de formare în care se montează cuiburi sau poansoane, plăci aruncătoare și portaruncătoare, plăci tampon, etc.

Oțelurile aliate pentru îmbunătățire pot fi: 41MoCr11, 50VCr11, etc. Oțelurile 41MoCr11 se utilizează pentru piesele puternic solicitate, cu secțiune mare de îmbunătățire. Prin călire și revenire se obțin 270...320HB. Oțelul 50VCr11 se recomandă pentru secțiuni medii sub 50 mm. Sunt supuse unor regimuri grele de funcționare, au rezistență la uzură și sunt elastice. După îmbunătățire se obțin 300...400HB.

6.12.1.6. Oțeluri anticorozive

În cazul prelucrării materialelor plastice care pot ataca chimic matrița, pentru evitarea acestui neajuns, se pot folosi două metode: cromarea dură a suprafețelor care vin în contact cu materialul termoplastic sau executarea pieselor respective din oțeluri anticorozive.

Nu pentru toate configurațiile de piese se poate aplica cromarea. De asemenea există pericolul exfolierilor, mai ales la piesele subțiri solicitate la încovoiere. În acest caz se recomandă utilizarea oțelului anticoroziv.

Oțelul anticoroziv recomandat la construcția matrițelor este 40Cr130. Este rezistent la uzură, prin călire și revenire obținându-se o duritate de 500...550HB.

În *tab.6.21* sunt înscrise mărcile de oțeluri recomandate pentru confecționarea diferitelor elemente componente.

La matrițele de injectat de dimensiuni mari, pentru plăcile de formare a cuibului sau pentru poansoane, în unele cazuri, se folosesc oțelurile turnate sau oțelurile forjate. Alegerea procedeului de obținere a semifabricatului prin turnare sau forjare depinde de o serie de factori printre care cei mai importanți sunt: coeficienți de utilizare a materialului, costul sculelor și al mașinilor, volumul de muncă necesar prelucrărilor prin așchiere.

În general piesele de dimensiuni foarte mari, turnate sau forjate, au costuri de prelucrare mult mai mici, eliminând volume mari de material prelucrate prin așchiere.

Tab.6.21. **Oțeluri recomandate pentru execuția elementelor constructive ale matrițelor.**

Denumirea elementului matriței	Marca oțelului	STAS
Placă de prindere, placă intermediară, placă distanțieră	OL60 OLC45	500/2-86 880-80
Placă portpoanson, suport pentru pastile, placă aruncătoare, placă portaruncătoare inele de centrare	OLC45, OLC55 50VCr11 41MoCr11	880-86 791-80
Părțile active în contact direct cu materialul plastic (placa de formare, poanson, pastilă, bac)	200Cr120, 90VMn18 97MnCrW14 OLC15, OSC8, OSC10	3611-86 880-86 1700-86
Părțile active pentru injectarea materialelor plastice cu acțiune corozivă	20Cr130 40Cr130	3583-86
Părțile active care trebuie să aibă deformare minimă la tratamente termice	30MoCrAl09 33MoCr11	791-80
Coloană de ghidare, coloană înclinată, camă cârlig	OLC15 15Cr08, 18MnCr10	880-86 791-80
Duză, bucșă de ghidare, bucșă de conducere, bucșă centrală	OSC8 OSC10	1700-86
Tijă de aruncare, tijă filetată, placă tampon, tijă tampon	OLC45, OLC55 50VCr11	880-86 791-80
Știft de aruncare, extractor pentru culee, știft de centrare, știft tampon, știft readucător	97MnCrW14 WCrNi40	3611-86

6.12.2. Materiale speciale

În unele cazuri speciale, la matrițele de injectat se pot folosi: metale și aliaje neferoase, rășini epoxidice, materiale plastice.

6.12.2.1. Metale și aliaje neferoase

În cazul în care se impun unele condiții deosebite legate de coroziune și conductibilitate termică se folosesc metale și aliaje neferoase.

Cuprul și aliajele cuprului. *Alamele* sunt aliaje CuZn cu conținut de zinc de 30..45%. Au o bună conductibilitate termică și de aceea se recomandă pentru construcția de duze punctiforme, atât la matrițele de injectat cu antecameră cât și la matrițele cu canale încălzite. În unele cazuri se folosesc la executarea unor pastile greu de realizat din oțel și care nu pot fi răcite în bune condiții. Se prelucrează ușor. Alama se folosește, de asemenea, la confecționarea miezurilor pentru răcirea intensă a poansoanelor.

Bronzurile sunt aliaje ale cuprului cu staniul. Ele se caracterizează printr-o bună rezistență la coroziune în aer și apă, o rezistență ridicată la uzură și durificare importantă prin deformare la rece. Sunt folosite brozurile cu beriliu care prezintă caracteristici mecanice ridicate, rezistență mare la coroziune, sudabilitate bună și ușoară prelucrabilitate prin așchiere, elasticitate ridicată. Bronzurile cu beriliu se folosesc la confecționarea torpedourilor duzelor deschise pentru matrițe cu canale încălzite și la confecționarea poansoanelor răcite special.

Cuprul este un metal neferos cu slabă prelucrare prin așchiere și de aceea, în stare pură, nu se folosește decât sub formă de vergele, la temperarea poansoanelor cu $d \leq 5$ mm, folosind foarte buna sa proprietate de conductivitate termică.

Aliaje de aluminiu. Se utilizează în unele cazuri speciale datorită bunei conductibilități termice și stabilității chimice bune.

Aliaje antifricțiune. Sunt aliaje cu rezistență bună la frecare. Rezistența la frecare depinde de un număr mare de factori: presiune, ungere, viteză de rotație, natura metalului în contact. Aliajele antifricțiune au un punct de topire relativ scăzut (220...300°C) și ca atare pot fi ușor turnate. Două grupe de aliaje antifricțiune sunt mai răspândite:

- aliaje antifricțiune pe bază de Sn (80...90% Sn);
- aliaje antifricțiune pe bază de Pb (75...80% Pb).

Aliajele antifricțiune se folosesc în cazul unor poansoane rotitoare de mari dimensiuni.

6.12.2.2. Materiale nemetalice

Pentru modelarea unor piese care urmează a fi realizate prin injectare din materiale termoplastice „pentru injectarea de probe" a unui număr mic de bucăți, poate fi realizată în matriță o pastilă executată din rășină epoxidică și material de umplutură.

6.13. Procedee de execuție a matrițelor

La execuția matrițelor de injectat pot fi folosite diferite procedee: debitarea, prelucrări prin așchiere, prelucrarea prin electroeroziune, presarea la rece, polizarea, tehnica galvanoplastică, tehnica fotochimică.

6.13.1. Debitarea semifabricatelor

În vederea executării elementelor de matriță (plăci, poansoane, pastile, coloane de ghidare, etc.) se folosesc semifabricate debitate în prealabil la dimensiunile necesare din: table, benzi, bare, etc. Pentru a se obține piesa dorită este necesar să se determine forma și dimensiunile semifabricatului și să se traseze conturul acestui semifabricat. Trasarea se poate face după cotele desenului sau după șablon. Debitarea se poate face mecanic sau termic.

Debitarea prin așchiere. Acest procedeu se utilizează la obținerea din materiale laminate a unor semifabricate cu profil constant al secțiunii transversale și cu lungimi relativ precise. Debitarea prin așchiere se face pe fierăstraie alternative, circulare sau prin retezare pe strunguri.

Tăierea prin forfecare. Acest procedeu utilizează pentru retezare două tăișuri care solicită semifabricatul la forfecare. El se utilizează la tăierea tablelor subțiri. Tăierea se face fie cu ajutorul unor foarfece ghilotină sau combinate, fie pe prese.

Tăierea cu oxigen. Tăierea se realizează pe baza arderii materialului încălzit în prealabil la o temperatură ridicată. Metalul se încălzește în zona tăierii până la temperatura de ardere, cu ajutorul unei flăcări de gaz, iar apoi se poiectează asupra lui un jet de oxigen. Metalul arde în acest jet cu o degajare intensă de căldură. Se formează o zgură care este îndepărtată de jet, din tăietură, în stare topită.

Se supun operației de tăiere cu oxigen oțelurile carbon hipoeutectoide și oțelurile slab aliate.

Tăierea cu oxigen și flux. Se aplică la tăierea oțelurilor aliate, a oțelurilor inoxidabile care nu îndeplinesc condițiile pentru tăierea cu flacără oxigaz.

6.13.2. Prelucrări prin așchiere

Elementele componente ale matrițelor de injectat sunt supuse la diferite operații de prelucrare prin așchiere: găurire, strunjire, rabotare, frezare, alezare, rectificare.

Găurirea, lărgirea, alezarea și lamarea. La o matriță de injectat se prelucrează în pachetul de plăci prin găurire numeroase orificii: șuruburi de strângere, știfturi de centrare, știfturi readucătoare și știfturi tampon, aruncătoare, circuitul de temperare, coloane și bucșe de ghidare, etc.

Problemele legate de prelucrarea găurilor devin dificile datorită faptului că construcția matriței implică în același timp precizie înaltă și adâncimi mari pentru găuri. Dacă adâncimea de găurire este aproximativ de cinci ori mai mare decât diametrul găurii, apar dificultăți tehnologice care necesită scule speciale și tehnologie corespunzătoare. Sculele convenționale deviază ușor din direcția corectă a găurilor, din cauza stabilității lor reduse, iar uzura fețelor crează dificultăți, provocând frânarea sculei, ceea ce duce la ruperea ei.

Din cauza diferitelor caracteristici funcționale și constructive, fiecare din procedeele de găurire are un anumit domeniu de diametre de găurit și de adâncime de găurit, la

care aplicarea procedeului asigură exploatarea rațională a sculelor și a mașinii, realizând totodată o anumită calitate a găurii executate.

Se poate face afirmația că în domeniul diametrelor 2...60 mm, pentru adâncimi de găurire până la de 25 de ori diametrul de găurire sunt posibile mai multe procedee de găurire. La producția de unicate se ia în considerare parcul existent de mașini-unelte.

În funcție de precizia de prelucrare impusă de funcționarea piesei respective, se execută operațiile corespunzătoare:

- găurile pentru șuruburile de strângere se execută cu burghie, în funcție de lungimea de găurire;
- capetele șuruburilor de strângere cu cap cilindric se execută cu adâncitoare;
- locașurile pentru știfturile cilindrice de centrare se execută cu burghie pentru găuri de lungime mare, după care se supun operației de alezare care realizează precizia impusă de ajustaj;
- locașurile pentru știfturile readucătoare se realizează cu burghie pentru lungime mare, apoi se supun operației de alezare care realizează precizia ajustajului în zona de ghidare; etc.

Operațiile de găurire, adâncire, lamare, alezare se pot realiza pe mașini de găurit (de masă, cu coloană, cu montant, în coordonate) sau manual.

Strunjirea. Este operația de prelucrare prin așchiere care se efectuează pe strunguri. În cazul strunjirii se disting: strunjirea exterioară (longitudinală, conică, transversală, retezarea) și strunjirea interioară. Se supun operațiilor de strunjire diferite elemente de construcție ale matrițelor de injectat: plăci matriță, inele de centrare, duze de injectare, coloane și bucșe de ghidare, bucșe centrale, poansoane, pastile, etc.

Prin strunjire se pot realiza îmbinări conice de foarte bună calitate:

- între pastile și poansoane, pentru a împiedica scurgerea materialului plastic în afara cuibului matriței;
- pentru realizarea închiderii între bacuri și inelele de închidere la matrițele cu deschidere prin bacuri.

Prin strunjire se pot realiza îmbinări cilindrice de foarte bună coaxialitate:

- amplasarea centrală a poansoanelor și a pastilelor cilindrice;
- realizarea ajustării între aruncătorul tubular și poanson pentru aruncarea tubulară;
- îmbinări în vederea conducerii și ghidării: coloane și bucșe de ghidare, tijă de aruncare și bucșă de conducere; etc.

Prin strunjire se pot realiza suprafețe profilate la confecționarea unor poansoane și cuiburi.

Prin strunjire se pot realiza filete:

- pentru poansoane și cuiburi care realizează filete interioare sau exterioare în piesa injectată;
- pentru realizarea unor elemente constructive speciale (șurub de mișcare cu mai multe începuturi, șuruburi tampon, etc.).

Operațiile de strunjire se execută în mod obișnuit pe strunguri universale de sculărie. În cazul unor piese executate în serie, de tipul elementelor tipizate (coloană de ghidare, bucșă de ghidare, bucșă de conducere, etc.) se folosesc strunguri cu comandă program.

Rabotarea și mortezarea. *Rabotarea* este operația destinată prelucrării mecanice a suprafețelor plane orizontale, verticale și înclinate. Principiul de lucru al mașinilor de rabotat se caracterizează prin aceea că atât mișcarea principală de așchiere cât și mișcarea secundară de avans sunt rectilinii. Mașinile unelte sunt șepinguri sau raboteze. Prin rabotare se prelucrează suprafețele plăcilor componente ale matriței, precum și a unor pastile și poansoane de dimensiuni mari.

Mortezarea este operația de prelucrare mecanică prin așchiere verticală a suprafețelor plane, cilindrice sau profilate. Mașinile unelte sunt morteze. Operațiile de rabotare și mortezare se aplică atât plăcilor laminate cât și pieselor turnate sau forjate. În cazul matrițelor de injectat de dimensiuni mari, care necesită așchieri pe suprafețe mari, rabotarea și mortezarea sunt foarte utile.

Frezarea. Este operația de prelucrat mecanic prin așchiere cu foarte mare pondere în domeniul confecționării matrițelor de injectat. Pe mașinile de frezat se pot executa o gamă foarte mare de lucrări: prelucrarea suprafețelor plane, prelucrarea canalelor, prelucrarea suprafețelor profilate, prelucrarea roților dințate. Operațiile de frezare se execută pe mașini de frezat normale și pe mașini de frezat speciale. În atelierele de execuție a matrițelor de injectat cea mai folosită mașină unealtă este mașina de frezat de scularie.

La prelucrarea suprafețelor prin frezare se folosesc: freze cilindrice, freze cilindro - - frontale, freze disc, freze unghiulare, freze profilate, etc.

Frezarea suprafețelor orizontale se poate realiza cu freze cilindrice pe mașini de frezat orizontale sau universale și cu freze frontale pe mașini de frezat verticale sau folosindu-se capul vertical al mașinilor de frezat universale. Prelucrarea suprafețelor discontinue dar situate la același nivel este indicat să se facă cu freze frontale.

Frezarea cu freze frontale se face fără șocuri mari, deoarece toți dinții frezei lucrează simultan, iar eforturile de așchiere se echilibrează partial.

Frezarea suprafețelor verticale se poate realiza atât la mașini de frezat orizontale cât și la cele verticale. În general, între suprafețele orizontale și cele verticale nu există o deosebire esențială din punct de vedere a frezării lor, ele putându-se transforma ușor una în alta atunci când este cazul.

Suprafețele înclinate se pot prelucra prin mai multe metode pe mașinile de frezat orizontal sau vertical.

Retezarea pieselor pe mașinile de frezat se execută rar în cazurile în care se cere retezarea precisă a unor piese ce au avut prelucrări anterioare. Pentru retezare se folosesc freze disc foarte subțiri, numite freze fierăstrău, care lucrează numai pe fața cilindrică.

Unele dintre piesele care intră în componența matrițelor de injectat au suprafețe profilate în cele mai diferite forme. Aceste suprafețe profilate se obțin prin frezare pe mașini de frezat obișnuite sau speciale prin mai multe metode:

- prelucrarea cu freze profilate simple sau combinate, prelucrarea prin combinarea a două avansuri;
- prelucrarea cu ajutorul platoului rotativ;
- prelucrarea cu ajutorul dispozitivelor de copiat.

Metoda prelucrării cu ajutorul frezelor profilate permite realizarea unor suprafețe prin însăși forma frezei. Acest procedeu este mai costisitor decât frezarea obișnuită, deoarece executarea și ascuțirea frezei profilate costă mai mult decât pentru frezele normale. În general frezarea se execută din mai multe operații, începând cu trasarea pe piesa brută a profilului cerut de desen cu ajutorul șablonului, apoi se trasează un profil compus din suprafețe plane care să urmărească profilul final, după care se poate executa o frezare de degroșare pentru înlăturarea adaosului de material. În felul acesta pe piesă va rămâne un adaos de prelucrare mult micșorat ce va fi îndepărtat prin operația de finisare realizată cu freza profilată, realizându-se astfel o suprafață a cărui profil, trasat în prealabil cu șablonul, va corespunde cu cel al frezei (*fig.6.220*).

Metodele de frezare profilate descrise până acum sunt neproductive și depind în mare măsură de îndemânarea frezorului. Frezarea prin copiere folosind șabloane sau frezarea pe mașini speciale cu comandă numerică sunt din ce în ce mai folosite în atelierele de prelucrat matrițe de injectat.

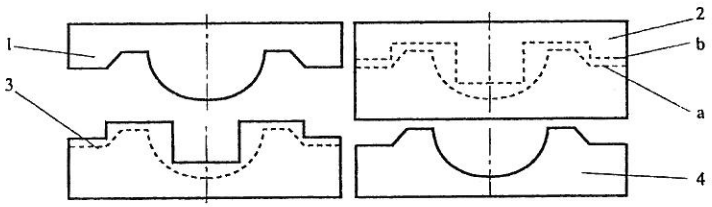


Fig.6.220. Frezarea suprafețelor profilate:
1 - șablon; 2 - piesă trasată; 3 - piesă prelucrată prin frezarea suprafețelor plane; 4 - piesă frezată profilat; a - profil trasat; b - suprafețe plane pentru prelucrarea prin frezare.

Una din operațiile des întâlnite la prelucrarea prin frezare este frezarea canalelor cu cele mai diferite profiluri: canale pană, canale în formă de T, canale în formă de coadă de rândunică, canale unghiulare, etc.

Roțile dințate necesare diferitelor matrițe de injectat pot fi executate prin frezare, folosind mașini speciale, dar pot fi executate și pe mașinile de frezat orizontale prevăzute cu cap divizor. Există două metode prevăzute pentru executarea danturii angrenajelor: prin copiere și prin rulare. Pe mașinile de frezat se pot executa: roți dințate cilindrice cu dinți drepți și înclinați, roți melcate și roți conice. Generarea danturii prin copiere se poate realiza cu freză disc modul sau freză deget modul. Generarea danturii prin rulare se poate face prin frezare cu freză melc modul.

Rectificarea suprafețelor. Pentru obținerea unor suprafețe netede cu rugozitate mică sunt necesare operații de finisare care se pot realiza utilizând diferite sisteme de prelucrare, printre care cel mai răspândit este rectificarea. Operația de rectificat se execută cu o sculă abrazivă numită piatră de rectificat. Rectificarea se execută cu viteze de așchiere foarte mari. La rectificare piatra abrazivă execută întotdeauna mișcarea principală de rotație, iar piesa de rectificat o mișcare secundară de rotație sau una de avans.

Rectificarea se clasifică după gradul de netezime al suprafeței în: rectificare de degroșare și rectificare de finisare. După forma suprafețelor de prelucrat, rectificarea poate fi rotundă (exterioară și interioară), plană și profilată. Rectificarea rotundă exterioară și interioară se aplică la o matriță de injectat următoarelor repere: plăci de matriță, pastile și poansoane, duze de injectare, coloane și bucșe de ghidare, aruncătoare tip știft și tubulare, bucșe centrale, etc.

În cazul aruncătoarelor matriței de injectat se folosește cu mare succes rectificarea fără vârfuri, care este un procedeu de mare productivitate, executat pe mașini speciale.

Rectificarea rotundă exterioară și interioară permite prelucrarea exterioară și interioară a suprafețelor cilindrice sau conice.

Rectificarea plană se folosește la prelucrarea de finisare, în special la piesele tratate termic și la cele la care finisarea nu poate fi făcută prin rabotare, frezare sau broșare. Rectificarea plană la o matriță de injectat se aplică următoarelor repere: plăci de matriță, poansoane și pastile, bacuri, ghidaje, etc. Rectificarea suprafețelor plane poate fi făcută cu periferia discului abraziv sau cu partea frontală a acestuia. Indiferent de suprafața cu care piatra execută rectificarea, piesa de rectificat se fixează pe masa mașinii prin intermediul platourilor magnetice sau a dispozitivelor.

Realizarea elementelor matriței de injectat impune, în foarte multe cazuri la prelucrarea cuibului și a poansoanelor piesei injectate, rectificări profilate. O astfel de rectificare se poate realiza fie la mașini de recificat rotund exterior, interior sau plan cu ajutorul unor dispozitive speciale, fie la mașini speciale de rectificare profilată. La mașinile clasice de rectificat, pentru rectificarea suprafețelor profilate folosind pietre abrazive

obișnuite, conturul profilat al piesei se obține cu ajutorul șabloanelor, al dispozitivelor sau prin mișcări speciale ale mașinii de rectificate, în funcție de forma profilului.

Pentru piesele mici sau pentru executarea unui număr mai mare de piese se folosește rectificarea suprafețelor profilate cu pietra abrazive speciale, al căror contur este același cu al piesei cu care se prelucrează. Precizia pieselor realizate cu această metodă depinde, în primul rând, de exactitatea cu care se execută profilarea piesei.

Rectificarea profilelor se poate realiza, pentru profile complicate care se repetă, cu ajutorul mașinilor de rectificat profile dotate cu ecran și comandă numerică. Pe ecran pot fi vizualizate la scară mărită (50:1) scula și profilul preluctat al piesei, iar prin programul stabilit profilul este urmărit prin calculator.

În *fig.6.221* este prezentată o placă de formare a unei matrițe pe care sunt puse în evidență diferite prelucrări mecanice.

În procesul de prelucrare al matrițelor pot fi întâlnite și alte prelucrări mecanice: pilirea, broșarea, lepuirea, honuirea, suprafinisarea, etc. Acestea sunt mai rar folosite la execuția matriței exceptând operația de șlefuire folosită mai ales la cuiburile și poansoanele matriței.

Șlefuirea. În urma prelucrării prin așchiere suprafețele pieselor rămân cu asperități a căror forme și dimensiuni depind de felul prelucrării și de materialul din care se execută piesa. Pentru a îndepărta asperitățile, realizându-se o calitate superioară a suprafețelor prelucrate, se folosește operația de șlefuire.

Șlefuirea este operația de prelucrare a suprafețelor cu granule abrazive fixate cu adezivi pe periferia unor discuri, prisme, lame, suport de hârtie sau pânză, obținându-se rugozități cuprinse între 0,8...0,018 μm [61]. Șlefuirea se poate face manual sau cu mașina. Sculele pentru șlefuirea manuală sunt în formă de lame, bare, prisme și sunt confecționate din metale cu diferite durități, lemn, materiale sintetice. Sculele pentru șlefuirea cu mașina se prezintă sub formă de discuri și perii confecționate din pâslă. Agentul abraziv cel mai des folosit la șlefuire este pasta de diamant.

După cum este prezentat în *fig.6.222* duritatea sculei de șlefuit influențează înălțimea la cere se montează granula de diamant în suport și prin aceasta adâncimea materialului îndepărtat [60].

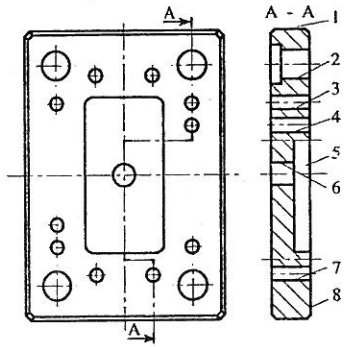


Fig.6.221. Prelucrări prin așchiere la o placă de formare: 1 - suprafață frezată; 2 - prelucrare prin găurire în coordonate și rectificare (bucșă de ghidare); 3 - găurire (șurub); 4 - găurire și alezare (știft de centrare); 5 - frezare și rectificare (duză); 7 - găurire și alezare (știft tampon); 8 - frezare și rectificare.

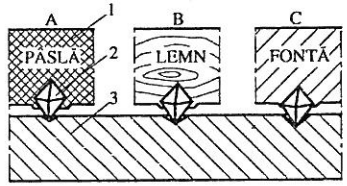


Fig.6.222. Reprezentarea schematică la șlefuirea materialelor metalice cu diferite materiale:
A - materiale moi (pâslă, lemn, hârtie); B - material mediu (rășină, material fibros, lemn); C - material dur (fontă, oțel, cupru); 1 - sculă de șlefuit; 2 - granulă abrazivă; 3 - cuibul matriței (oțel dur).

În operația de șlefuire sunt necesare respectarea următoarelor condiții:

- operația se execută în spații fără praf și curenți. Particulele de praf pot impurifica agentul de șlefuire și pot compromite suprafața șlefuită;
- fiecare sculă de șlefuit trebuie să fie utilizată pentru o singură dimensiune de granulă cuprinsă în pastă;
- sculele de șlefuit se impregnează treptat în pasta de polizat;
- la șlefuirea manuală pasta se depune pe scula de șlefuit, iar la șlefuirea cu mașina pe piesa de șlefuit;
- cu cât e mai mică dimensiunea granulei abrazive cu atât mai mică e cantitatea de lichid necesar pentru diluare;
- presiunea de șlefuire trebuie să fie adaptată la duritatea sculei de șlefuit și dimensiunea granulei abrazive cuprinsă în pastă;
- îndepărtarea unui strat mai mare de material necesită scule dure de șlefuit și pastă de granulație mare;
- șlefuirea finală a cuiburilor matriței, canalelor, duzelor, etc. trebuie să se facă pe direcția de curgere a materialului plastic sau pe direcția de aruncare.

La șlefuirea cuiburilor matriței se utilizează două procedee:

- în primul procedeu se alege o pastă de polizat cu o anumită granulație și se folosește o sculă cu duritate mare. Pas cu pas, cu același tip de pastă, se șlefuiește folosind scule cu durități din ce în ce mai mici;
- în cel de-al doilea procedeu se folosește o sculă cu duritate medie și pastă cu granulație mare. Pas cu pas, folosind același tip de sculă, se folosesc paste cu granulații din ce în ce mai fine.

Se recomandă și o combinație a acestor procedee:

- se folosește o sculă dură și o pastă cu granulație mare;
- se trece la o sculă cu duritate mai mică folosind aceeași pastă;
- se folosește o sculă cu duritate medie și o pastă cu granulație medie;
- se folosește apoi o sculă cu duritate mai mică folosind aceeași pastă;
- se folosește în final o sculă de șlefuit moale și o pastă cu granulație foarte fină.

Un oțel cu duritate mai mare este mai greu de șlefuit însă la șlefuire se obține o șlefuire mai bună, dar într-un timp mai lung (*fig.6.223*).

Suprafețele realizate prin electroeroziune sunt mai greu de șlefuit decât cele prin așchiere. După electroeroziunea de degroșare este necesară realizarea unei electroeroziuni de finisare în vederea unei șlefuiri corespunzătoare.

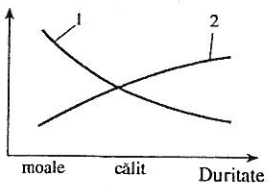


Fig.6.223. Posibilitatea de șlefuire a unui oțel:
1 - posibilitatea de șlefuire;
2 - calitatea șlefuirii.

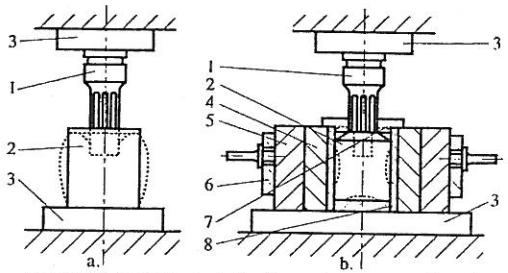


Fig.6.224. Realizarea cuiburilor prin presare directă:
a - presare liberă; b - presare în ramă; 1 - poanson;
2 - pastilă pentru cuib; 3 - placă; 4, 5 - rame; 6 - ramă de siguranță; 7 - inel de ghidare; 8 - inel suport.

O suprafață nitrurată sau cementată este mai dificil de șlefuit decât materialul de bază, dar rezultă după șlefuire o suprafață mai bună.

Dacă șlefuirea continuă peste o anumită limită, apare fenomenul de supraslefuire, determinând două defecte: „coaja de portocală" și „împunsături de ac". Supraslefuirea apare în majoritatea cazurilor la șlefuirea cu mașina și mai rar la șlefuirea manuală. Formarea unei suprafețe neuniforme, zgrunțuroase, numită și „coajă de portocală" poate avea mai multe cauze. Cea mai frecventă este supraîncălzirea sau carburarea prea pronunțată în timpul tratamentului termic în combinație cu presiunea prea mare și timpul de șlefuire prea lung. Apariția denomenului „împunsături de ac" la o suprafață șlefuită se datorește desprinderilor de zgură din oxizii duri și fragili de pe suprafața șlefuită. Cauzele apariției acestui defect sunt: timpul și presiunea de șlefuire, puritatea oțelului, scula de șlefuit, agentul de șlefuire.

6.13.3. Presarea la rece a cuiburilor matriței

Executarea cuburilor prin presare la rece este un procedeu tehnologic modern și economic, răspândit în ultimul timp din ce în ce mai mult datorită avantajelor sale rezultate din următoarele:

- suprafața exterioară a unui poanson de presare se prelucrează mult mai repede, mai precis și se poate lustrui mai ușor decât suprafața interioară a unei cavități în matriță;
- prin presarea poansonului în placa de formare sau în cuib se obține o suprafață foarte netedă care nu mai necesită prelucrări ulterioare de polizare sau lustruire;
- cu un singur poanson de prelucrare se pot executa mai multe cuiburi de dimensiuni identice;
- durata de execuție a cuibului este mai scurtă în comparație cu alte procedee, iar în cazul executării mai multor cuiburi identice, procedeul este foarte productiv și economic;
- permite executarea unor cuiburi de formă complicată care prin procedeele clasice de așchiere nu pot fi realizate.

Se cunosc mai multe variante de prelucrare a cuiburilor prin deformare la rece, cele mai răspândite fiind deformarea prin presare directă și deformarea prin strangulare [20].

Prelucrarea cuiburilor prin presare directă. Cu acest procedeu se prelucrează cuiburi cu suprafață relativ mare și de adâncime relativ mică. Procedeul constă în presarea unui poanson de oțel de tenacitate și duritate foarte mare, călit și perfect lustruit, într-o pastilă din oțel recopt având suprafața lustruită. Pe parcursul operației de presare forța de presare crește treptat.

Procedeul de presare directă poate fi efectuat în două variante, și anume: prin presare liberă și prin presare în ramă. În *fig.6.224* sunt prezentate cele două variante de presare directă.

Presarea liberă (*fig.6.224.a*), la o adâncime de presare identică necesită o forța de presare cu circa 40% mai mică decât în cazul presării în ramă. În schimb, în urma presării libere, pastila se deformează, iar precizia dimensională a cavității poate avea abateri în raport cu dimensiunile poansonului. De aceea, această variantă se folosește numai în cazul prelucrării unor cuiburi cu secțiune și adâncime foarte mică și fără pretenții de precizie dimensională ridicată.

Presarea în ramă (*fig.6.224.b*) asigură obținerea cuiburilor de calitate corespunzătoare și de precizie dimensională ridicată, nepermițând deformarea pastilei în care se presează

cuibul. Ramele *4* și *5*, respectiv inelul suport *8*, asigură ca pastila să nu se deformeze, iar inelul de conducere *7* asigură ghidarea corespunzătoare a poansonului de presare *1*. Datorită frecărilor mari între poanson și pastilă, forța de presare necesară crește mult.

Cea mai mare problemă a imprimării la rece o constituie evaluarea cât mai precisă a forței de apăsare care dă posibilitatea alegerii utilajului corespunzător. Literatura de specialitate cunoaște foarte multe formule pentru calcularea forței necesare imprimării la rece. Aceste relații însă au mai mult caracter informativ, întrucât nu conțin toți factorii de influență, iar între variabile există interdependență insuficient cunoscută în prezent. Calculul forței de apăsare este îngreunat mult de nervurile și degajările existente în peretele sau fundul cuibului matriței. Forța de apăsare este influențată și de viteza de apăsare, de frecarea dintre poanson și cuibul matriței, de forma secțiunii transversale a poansonului, etc.

Cu nomograma din *fig.6.225* se poate determina adâncimea de imprimare t în cazul imprimării libere, cunoscând suprafața A a poansonului, presiunea de apăsare P și duritatea Brinell a materialului cuibului. De asemenea, cunoscând adâncimea t, suprafața A și duritatea matriței se poate determina presiunea de apăsare p.

Cu nomograma din *fig.6.226* se poate determina presiunea de apăsare p la imprimarea în ramă cunoscând duritatea cuibului matriței, adâncimea t de imprimare și valoarea expresiei V.

Valoarea lui V este dată de

$$V = \frac{A}{L}, \tag{6.113}$$

unde:

- A - suprafața poansonului [mm^2];
- L - perimetrul poansonului [mm].

Forța de apăsare necesară imprimării se determină cu formula

$$F = Sp_a, \tag{6.114}$$

unde:

- S - aria secțiunii transversale a poansonului [mm^2];
- p_a - presiunea maximă admisibilă [kgf/mm^2].

Pentru a ușura imprimarea cuibului, pastila se execută cu conicitate și degajări pentru a asigura loc de refulare a materialului dislocat de poanson. De asemenea, trebuie asigurată posibilitatea eliminării aerului dintre poanson și cuib.

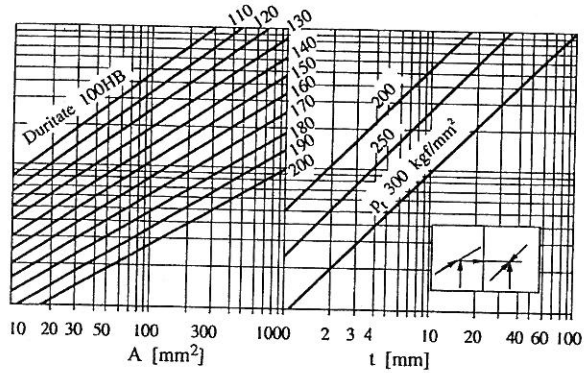


Fig.6.225. Nomogramă pentru calculul presiunii de imprimare la imprimarea liberă.

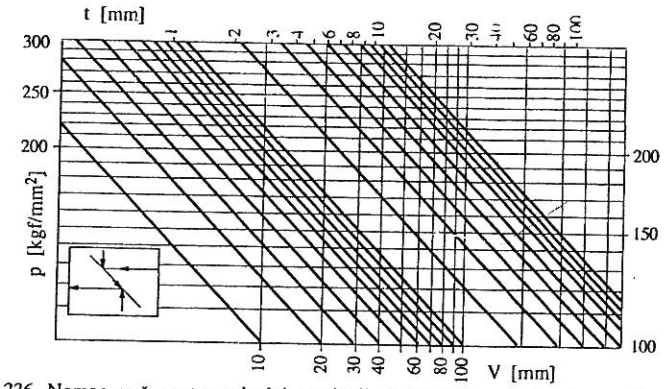


Fig.6.226. Nomogramă pentru calculul presiunii de imprimare la imprimarea în ramă.

În *fig.6.227* se prezintă dependența dintre unghiul de înclinare α al poansonului și presiunea de apăsare p în funcție de adâncimea de imprimare t. Adâncimea de presare t, adică drumul parcurs de suprafața frontală a poansonului, nu este identică cu adâncimea utilă t_u. Între ele apare o diferență t_r datorită elasticității plăcilor *3* (*fig.6.224*) și a mașinii de presare

$$t_r = t_u - t. \tag{6.115}$$

Valoarea lui t_r se determină experimental.

Viteza imprimării influențează în mare măsură calitatea imprimării. În cazul unor viteze de imprimare prea mari apar fisuri și defecte de curgere în material. Viteza de curgere optimă este cuprinsă între 0,1...0,6 mm/min. Alegerea vitezei se face în funcție de configurația poansonului, materialul matriței, etc. Pentru poansoane cu rizuri și trepte nu se recomandă viteze mai mari de 0,3 mm/min. În cazul în care materialul matriței este dur, viteza de lucru se reduce sub valorile medii utilizate.

Operația de imprimare la rece se execută cu mare atenție. Se recomandă:

- poansonul se imprimare se călește și se lustruiește;
- poansonul se unge cu pulbere antifricțiune (bisulfură de molibden) sau se tratează cu o soluție concentrată de sulfat de cupru.

Mașinile utilizate pentru presare sunt presele hidraulice cu forță mare (630...2500kN) prevăzute cu reglare automată a forței și vitezei de presare.

Prelucrarea cuiburilor cu deformare prin strangulare. Cuiburile pentru injectarea pieselor lungi și subțiri, cu formă exterioară necilindrică (de exemplu corpuri de stilou cu nervuri sau de formă octogonală) nu pot fi executate nici prin așchiere și nici prin presare directă la rece. Pentru executarea unor astfel de cuiburi, în ultimul timp, s-a răspândit procedeul de prelucrare cu deformare prin strangulare (*fig.6.228*). Ponasonul de strangulare *5*, călit și lustruit, având forma geometrică și dimensiunile corespunzătoare formei piesei de injectat, se introduce în cavitatea pregăurită a pastilei *10* confecționată dintr-un oțel de cementare recopt. Prin intermediul plăcii de presare *1* și a bucșei de presare *2*, pastila *10*, cu pereți relativ sbțiri, este presată în bucșa de strangulare călită *6*. Gaura conică a bucșei de strangulare *6* presează pereții pastilei *10* pe suprafața poansonului de strangulare *5* și astfel gura inițial cilindrică a pastilei *10* ia forma poansonului de strangulare. În cazul în care nervurile piesei de injectat sunt prea adânci, se execută mai multe poansoane de strangulare cu profile din ce în ce mai apropiate de profilul piesei și pastila, recoaptă după fiecare presare, se presează de

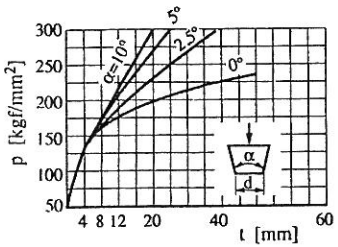


Fig.6.227. Dependenţa dintre unghiul de înclinare al poansonului, presiunea de apăsare şi adâncimea la imprimarea cuiburilor la rece.

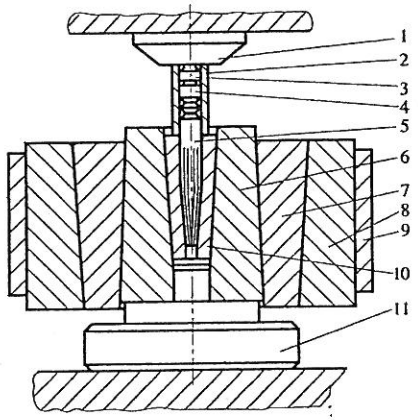


Fig.6.228. Prelucrarea cuiburilor cu deformare prin strangulare: 1 - placa de presare; 2 - bucşă de presare; 3 - tampon călit; 4 - tampon de cauciuc; 5 - poanson de strangulare; 6 - bucşă de strangulare; 7, 8 - rame; 9 - ramă de siguranţă; 10 - pastila cuibului; 11 - placă de bază.

mai multe ori prin bucşa de strangulare, cu gaură conică din ce în ce mai mică. Bucşa de presare *2*, poansonul de strangulare *5* şi bucşa de strangulare *6* (ultimele două piese fiind perfect lustruite) se execută din oţel aliat de scule 200Cr120, călit până la o duritate de 61...63 HRC.

6.13.4. Electroeroziunea

În zilele noastre prelucrarea prin electroeroziune a luat mare răspândire la confecţionarea plăcilor de formare, a cuiburilor şi pastilelor pentru matriţele de injectat materiale termoplastice. Acest tip de prelucrare este mai ales recomandat în cazul folosirii unor semifabricate tratate termic prin călire şi cu formă complexă.

Folosirea tehnologiei de prelucrare prin electroeroziune nu duce la înlocuirea unor metode clasice de prelucrare, ci dimpotrivă le completează. Semifabricatele care nu pot fi executate pe maşini clasice sau la care indicatorii tehnico-economici sunt reduşi, folosesc cu succes electroeroziunea.

Prin electroeroziune se realizează găuri simple şi complexe, drepte, curbe, conice, etc., cu o precizie de prelucrare până la ±3 μm, plăci şi cuiburi de matriţă de formă complexă într-un timp de 4...6 ori mai mic decât prin procedeele clasice. De asemenea, se pot realiza debitări de materiale cu tăieturi foarte fine şi precise, fapt pentru care procedeul este foarte folosit pentru prelucrarea fantelor de precizie.

6.13.4.1. Fenomene fizico-chimice

Electroeroziunea se bazează pe efortul distructiv al descărcărilor electrice între doi electrozi imersaţi într-un lichid dielectric (*fig.6.229*). În spaţiul de lucru dintre cei doi

electrozi au loc o serie de fenomene fizico-mecanice şi fizico-chimice ca urmare a microdescărcărilor electrice ce se produc între cei doi electrozi.

În interstiţiul de lucru au loc microdescărcări electrice care străpung stratul de dielectric dintre electrozi, simultan în nenumărate puncte. Ca urmare, energia electrică se transformă în energie calorică şi energie mecanică. Energia de descărcare are o mare densitate pe unitatea de volum, plecând de la aproximativ 30.000J/mm^2 până la sute de kilovaţi pe mm^2. Localizarea acestei energii ridicate pe vârful microneregularităţilor are ca efect topirea şi vaporizarea metalului de pe aceste vârfuri, după care urmează răcirea şi condensarea rapidă, rezultând produse electrocorozive. Microdescărcarea energiei electrice în interstiţiul de lucru între anod şi catod sub formă de impulsuri care sunt de diverse forme (dreptunghiulare, triunghiulare, sinusoidale, etc.) duce la formarea unor microcanale cilindrice pe vârful microneregularităţilor, unde stratul de dielectric este străpuns având o rezistenţă mică.

Trecerea materialului şi a energiei dintr-o stare fizică în alta are loc cu microexplozii care sunt auzite şi vizibile în unele cazuri. Simultan cu descărcarea energiei electrice apar şi unde de şoc mecanice care, împreună cu gazele formate, deformează canalele ionizate sub formă elipsoidică şi scot în acelaşi timp produsele electroerozive din microcraterele formate.

Procesul de descărcare a energiei electrice sub formă de impulsuri în interstiţiul de lucru şi transformarea ei în energie calorică şi mecanică influenţează direct atât electrozii sculă şi piesă, cât şi dielectricul din interstiţiul de lucru. Fenomenele care au loc sunt interdependente în tot timpul procesului de prelucrare.

Formarea canalelor de microdescărcări depinde de interstiţiul dintre electrozi. Acesta influenţează direct întregul proces electrocoroziv şi în special durata şi energia impulsului, durata dintre impulsuri, mărimea corficientului de umplere, forma şi amplitudinea descărcării pe suprafaţa de lucru şi eficienţa ei, circulaţia dielectricului şi produselor electroerozive, etc. Interstiţiul de lucru trebuie să aibă o anumită valoare critică care să permită formarea microcanalelor de descărcare. Aceasta se mai numeşte *distanţă de scânteiere.*

Energia din canalele ionizate în timpul procesului de prelucrare este utilizată în cea mai mare parte pentru erodarea piesei, o parte mai mică erodează electrodul-sculă, iar altă parte este consumată de o serie de fenomene fizico-chimice care au loc în masa dielectricului dintre electrozi, în special datorită procesului de piroliză.

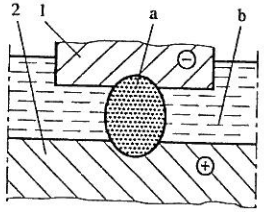


Fig.6.229. Principiul prelucrării prin electroeroziune: 1 - electrod sculă; 2 - electrod piesă; a - descărcare; b - dielectric.

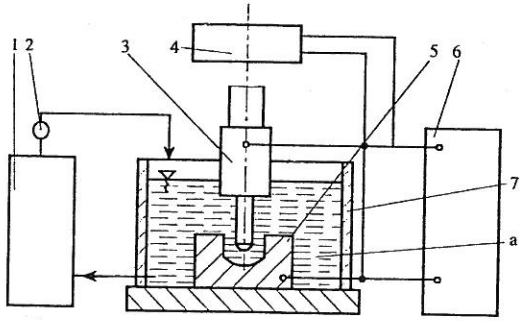


Fig.6.230. Instalaţie de prelucrare prin electroeroziune: 1 - bazin pentru dielectric; 2 - pompă de recirculare; 3 - electrod sculă; 4 - instalaţie de reglare; 5 - piesă; 6 - generator; 7 - masă de lucru; a - dieletric.

6.13.4.2. Instalații de prelucrare prin electroeroziune

Mașinile de prelucrat prin electroeroziune sunt de mai multe tipuri: mașini de prelucrat prin copiere, mașini de prelucrat cu fir, mașini de prelucrat specializate (de rectificat), cu electrod sculă rotativ și cu mișcare orbitală, de prelucrat filete, etc.

O mașină de prelucrat prin electroeroziune prin copiere este prezentată în *fig.6.230.*

Generatorul de impulsuri. Utilizarea energiei electrice sub formă de impulsuri periodice a găsit o largă aplicație la mașinile de prelucrat prin electroeroziune. Durata și energia fiecărui impuls are influență în procesul de prelucrare asupra productivității, preciziei și rugozității pieselor prelucrate.

Generatoarele de impulsuri periodice se pot clasifica după anumiți indici, după caracteristicile impulsului și după sistemul de generare [60, 72].

La mașinile de prelucrat prin elcetroeroziune impulsul poate avea diferite forme: dreptunghiulare, trapezoidale, sinusoidale, triunghiulare, în trepte, etc. (*fig.6.231*).

Dielectrici. Un rol important în procesul de prelucrare electroerozivă îl are dielectricul utilizat și circulația lui de care depinde în mare măsură obținerea unei productivități ridicate (volumul de material îndepărtat în unitatea de timp). Existența particulelor de metal îndepărtate de pe piesă și de pe electrodul sculă în interstițiul de lucru poate duce la blocarea acestuia, fapt ce dă naștere la scurtcircuitări. Din această cauză este necesar ca interstițiul în care se produce erodarea să fie în permanență supus circulației dielectricului pentru a se reduce fenomenele de scurtcircuitare.

Rolul principal al dielectricului este acela de a asigura și stimula formarea canalelor de ionizare la descărcarea energiei electrice în interstițiul dintre electrodul sculă și piesa care se prelucrează.

În general, lichidele dielectrice folosite la prelucrarea prin electroeroziune se împart în trei categorii: apa, uleiurile industriale și petrolul. Apa se utilizează ca dieletric în special la prelucrările prin electroeroziune cu fir. Cele mai utilizate uleiuri folosite ca dielectric sunt uleiurile minerale cu o cantitate mică de aditivi, un rol important având-l vâscozitatea uleiului. Petrolul este cel mai răspândit dielectric utilizat datorită vâscozității scăzute, ceea ce face să fie foarte indicat la operațiile de finisare.

Circulația lichidului dielectric în interstițiul de lucru se poate face în diferite variante (prin injecție, prin aspirație, combinată, tangențială, etc.), alegerea făcându-se în funcție de cazul de prelucrare respectiv, ținându-se seama de materialul electrodului piesă, regimul dielectric utilizat, faza de prelucrare (degresare, finisare, etc.). Pentru a se putea desfășura normal continuu procesul de prelucrare electroerozivă, dielectricul trebuie curățat prin filtrare de reziduurile rezultate în timpul prelucrării.

Electrozi sculă. Costul prelucrării prin electroeroziune depinde și de materialele din care

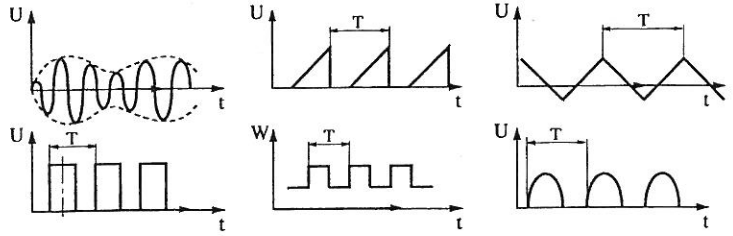


Fig.6.231. Forme de impulsuri folosite la mașinile de prelucrat prin electroeroziune: U - tensiune; t - timp; T - perioada de schimbare a impulsului.

sunt confecționați electrozii sculă, al căror cost poate ajunge până la 20...60% din costul total.

Electrozii sculă se pot confecționa din diferite materiale bune conducătoare sau parțial conducătoare de electricitate și conductivitate termică bună: cupru, alamă, aliaje de aluminiu, wolfram, pulberi pe bază de cupru și wolfram, grafit și cupru, etc. Electrozii confecționați din cupru electrolitic cu puritate 99,9% sunt cei mai folosiți. Se recomandă pentru prelucrarea oțelului permițând regimuri și viteze de erodare ridicate. Alama se folosește la confecționarea electrozilor sculă pentru faza de finisare, deoarece la viteze de erodare marei uzura lor este ridicată, ajungând până la valori de 50...60%. Wolframul se utilizează în mod special la prelucrarea găurilor filiforme. Electrozii sculă se realizează în general prin așchiere, strunjire, frezare, rectificare, etc.

În afara mașinilor de prelucrat prin electroeroziune cu electrod masiv s-au construit și mașini de prelucrat prin electroeroziune cu fir. Principiul de funcționare al acestor mașini este prezentat în *fig.6.232.* La acest tip de mașini electrodul sculă este un fir de sârmă calibrat cu diametre foarte mici, d_{fir} = 0,02...0,3 mm din cupru sau molibden și cu lungime cât mai mare posibil (7000...12000 m), întins între două role de ghidare și care se derulează continuu cu o viteză a firului în zona de lucru aproximativ constantă. Acest fir trebuie să realizeze o tăietură sau cu profil complex a semifabricatului prin deplasarea relativă a celr doi electrozi pe două direcții în plan orizontal. Realizarea tăieturii se poate face prin urmărirea unui șablon sau pe mașini cu comandă numerică după program. La aceste mașini dielectricul utilizat este apa distilată sau potabilă.

Tehnologia de execuție. Utilizarea procedeului electroeroziv la executarea matrițelor de injectat face posibilă prelucrarea acestora în condiții de creștere a productivității înainte și după tratamentul termic de călire. Prelucrarea cuiburilor matriței după operația de tratament termic conduce la eliminarea unor operații suplimentare de rectificare pentru înlăturarea deformațiilor termice produse de tratamentul termic.

Stabilirea parametrilor tehnologici de prelucrare se face în funcție de precizia și rugozitatea suprafeței cavității ce trebuie prelucrată, precum și de aria suprafeței atacate de electrodul sculă, urmărindu-se realizarea unei productivități cât mai bune.

Cantitatea de material prelevată în unitatea de timp este direct proporțională cu energia descărcării electrice, dar trebuie ținut seama de rugozitatea suprafeței e trebuie realizată.

Numărul de treceri la prelucrarea electroerozivă a matrițelor și implicit numărul de electrozi sculă este dat de calitatea suprafeței cavității ce trebuie obținută, corespunzătoare scopului.

Spre deosebire de prelucrarea găurilor, unde nu se admit conicități, la prelucrarea cuiburilor se impune realizarea unei conicități neutre evacuării piesei injectate.

La matrițele cu cavități având volumul de erodat foarte mare, se face mai întâi o prelucrare pe mașinile de frezat, în stare netratată a materialului, lăsându-se, în funcție de complexitatea cuibului ce trebuie realizat, un adaos de prelucrare de 0,3...0,5 mm pentru prelucrarea prin electroeroziune. După această prelucrare prin așchiere a materialului, se

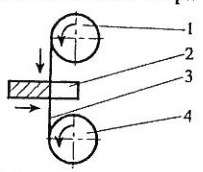


Fig.6.232. Schema simplificată a mașinii de prelucrat prin electroeroziune cu fir: 1 - rolă de desfășurare; 2 - piesă; 3 - fir; 4 - rolă de înfășurare.

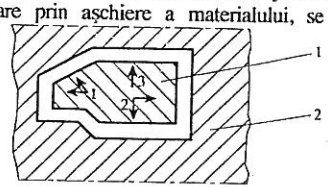


Fig.6.233. Prelucrare prin electroeroziune a unui cuib de matriță: 1 - electrod piesă; 2 - electrod sculă.

face tratamentul termic și o primă rectificare a suprafeței, urmând apoi prelucrarea prin electroeroziune. Pentru a se asigura o precizie ridicată a profilului, după ultima trecere se mai face o trecere de superfinisare cu același electrod sculă, dar cu regim electric de prelucrare mai fin.

De exemplu, pentru realizarea profilului din *fig.6.233* după ultima trecere de finisare se face superfinisarea suprafețelor, deplasându-se electrodul sculă de finisare succesiv în direcțiile *1-2-3*.

Aspectul suprafețelor realizate prin electroeroziune se caracterizează printr-o mare omogenitate și prin absența urmelor de prelucrare caracteristice procedeelor clasice de așchiere, fiind similar cu cel al unor suprafețe sablate, indiferent de regimul de lucru utilizat.

La prelucrarea electroerozivă, datorită rolului important al efectului termic, au loc în zona supusă prelucrării anumite schimbări structurale care influențează în mod direct calitatea și durabilitatea pieselor obținute prin această metodă.

Simultan cu creșterea rezistenței la uzură a suprafețelor prelucrate prin electroeroziune, are loc și o creștere însemnată a rezistenței la coroziune a acestora.

6.13.5. Turnarea de precizie

Executarea cuiburilor de dimensiuni mici se poate face în mod economicos prin turnarea de precizie, folosind așa numitul procedeu Shaw, care este foarte economicos pentru matrițele de injectat cu mai multe cuiburi [1].

Procedeul cuprinde mai multe etape. Prima etapă constă în executarea modelului piesei din lemn sau alt material adecvat, ținând cont și de contracția materialului plastic din care va fi injectată piesa.

Modelul se completează cu o placă având grosimea corespunzătoare spațiului de umplere. Modelul, fixat pe placa metalică, se așează într-o ramă în care se toarnă ipsos dentar. După turnare, modelul de ipsos este uscat în aer și apoi într-o etuvă cu încălzire lentă până la temperatura de 200°C. Modelul uscat se așează într-o ramă de formare și se ung atiat modelul cât și pereții ramei cu o soluție apoasă pentru micșorarea aderenței.

Cu cel mult 24 de ore înaintea turnării se prepară o soluție formată din 1000 cm^3 silicat de etil, 250 cm^3 apă, 20 cm^3 acid clorhidric având concentrația de 5% și 500 cm^3 spirt de concentrație 96%. O cantitate de un litru din soluția preparată se amestecă cu 1,7...2,5 kg de pulbere fină de cuarț arsă în prealabil la temperatura de 600...800°C. Amestecul omogenizat se toarnă peste modelul de ipsos așezat în rama de formare, precum și într-o altă ramă de formare în care s-a executat modelarea pentru culee, rețeaua de turnare și canalul de aerisire. Ambele rame de formare se usucă în aer timp de 24 de ore și apoi cu o încălzire lentă (cel mult 3...4°C/min.) la 800°C, menținându-le la această temperatură timp de 3...4 ore, după care se răcesc încet.

Ramele de formare uscate se asamblează alcătuind cutia de formare în care se toarnă oțelul aliat corespunzător, topit într-un cuptor cu arc sau cu inducție. După răcirea oțelului turnat, cuibul se curăță ușor de rămășițele amestecului de formare, se călește și se lustruiește. În mod asemănător se poate executa prin turnare de precizie și poansonul. Cu un singur model de ipsos se pot realiza mai multe forme de turnare.

Procedeul de executare prin turnare de precizie a cuiburilor pentru o matriță folosită la injectarea unei jucării este prezentat schematic în *fig.6.234*.

6.13.6. Executarea cuiburilor prin galvanoplastie

Executarea cuiburilor pentru matrițe de injectat prin galvanoplastie este o problemă rezolvată în prezent și practicată pe scară din ce în ce mai largă. Cojile galvanice încastrate în mod corespunzător în suport rezistă în bune condiții la injectarea unor serii de 10...100 mii bucăți de piese. Procedeul de executare a cuiburilor pentru matrițe pe cale galvanoplastică este deosebit de adecvat pentru injectarea pieselor de formă complicată și de dimensiuni relativ mici, cum ar fi, de exemplu capetele de animale pentru jucării, ornamente, inscripții, etc.

Esența procedeului galvanoplastic constă în depunerea electrolitică pe suprafața modelului fidel al piesei de injectat a unui strat de metal de grosime 2...5 mm, formând astfel o coajă metalică relativ groasă care apoi se poate separa ușor de model, în așa fel încât coaja metalică să nu sufere nici un fel de deteriorări.

Pentru a putea realiza o coajă galvanică de foarte bună calitate este deosebit de importantă realizarea unui model fidel, de dimensiuni precise și cu o suprafață netedă și foarte bine lustruită. Orice denivelare a suprafeței modelului, rizuri sau ondulații, îngreunează separarea cojii galvanice de model. La alegerea materialului din care se confecționează modelul, trebuie să se țină cont de numărul de coji galvanice care urmează a se executa cu același model, de prelucrabilitatea modelului și de complexitatea conturului piesei. Modele se execută din metale (aliaje de aluminiu, cupru, alamă, bronz, oțel inoxidabil) sau din materiale nemetalice (rășini metacrilice, rășini epoxidice, materiale plastice, etc.). Modelele confecționate din metale trebuie pasivate înainte de galvanizare pentru a putea fi separate ușor de coaja galvanică, iar cele nemetalice trebuie activate pentru a le face conductibile.

În cazul produselor injectate din materiale plastice, pentru realizarea cojilor galvanice se folosesc de cele mai multe ori modele confecționate prin vacumare din folie de polistiren rezistent la șoc de 1...2 mm grosime. Conductibilitatea modelelor din folii vacumate se face prin acoperirea suprafeței cu un film metalic, de regulă prin readucerea chimică a argintului sau a cuprului. Această operație se face prin imersare sau prin pulverizare cu săruri de argint sau cupru (azotat de argint, sulfat de cupru), după ce în prealabil modelul a fost degresat, sensibilizat și activat.

Coaja galvanică pentru cuiburile matrițelor de injectat se confecționează de cele mai multe ori din nichel, într-o baie electrolitică. Pentru compoziția băii galvanice de nichelare există foarte multe rețete, prezentate în lucrarea [62].

După obținerea unei grosimi galvanice din nichel, aceasta se scoate din baie, se taie în planul de separație și se îndepărtează modelul. În locurile unde, datorită profilului modelului, coaja galvanică nu este suficient de groasă, aceasta se încarcă cu alamă folosind un pistol oxiacetilenic. Se umple cuibul cu nisip de turnătorie și se usucă la temperatura indicată în funcție de nisipul folosit. Se lipesc după aceea tot prin alămire arcane (șuruburi pentru lemn de 15...20 mm lungime) pe partea inactivă a cuibului. Se fixează cuibul într-o formă metalică adecvată și se toarnă zamac.

Pentru a nu avea goluri în zamac, forma de turnare trebuie încălzită la 300...350°C înainte de turnare, iar în timpul acestei operații este bine să se vibreze ansamblul. Zamacul se toarnă în formă, în vână subțire, printr-un jgheab în așa fel încât cuibul să fie împrejmuit. Cuibul încastrat în zamac se prelucrează prin așchiere și poate fi montat în matriță după ce a fost încastrat la rândul lui într-o cămașă de oțel (*fig.6.235*). Cuibul de nichel încastrat în zamac se poate croma dur și operația este indicată în cazurile în care detaliile de relief nu sunt importante și nu se cer toleranțe strânse.

În funcție de forma piesei, în multe cazuri doar o parte a matriței se execută prin galvanoplastie, iar cealaltă parte din oțel prin prelucrări mecanice.

6.13.7. Executarea cuiburilor prin pulverizare

Obţinerea rapidă şi ieftină a unor cuiburi de matriţe folosind pulverizarea metalelor şi aliajelor cu punct de topire scăzut a căpătat răspândire pentru realizarea unor serii mici de piese injectate.

Pulverizarea metalelor se efectuează cu ajutorul unui pistol. Metalul topit la 200...300°C părăseşte duza pistolului în formă de particule care se răcesc rapid pe traiectorie solidificându-se practic instantaneu pe model. Fiecare strop este sferic în timp ce se află în aer, dar la impact cu modelul se împrăştie sub forma unui filtru lichefiat. Cu stropii următori se întâmplă acelaşi lucru, pe model realizându-se o peliculă omogenă, atâta timp cât se păstrează o temperatură corectă. Dacă stropii s-au răcit atât de mult încât sunt virtual solizi, la momentul la care iau contact cu modelul ei nu se aplatizează şi nu fuzionează, având contacte punctiforme cu cei învecinaţi. Rezultă o depunere pe model, fragilă şi subţire. Dacă pulverizarea este prea fierbinte, pe model metalul curge fără a se solidifica, astfel încât curentul de aer îl împrăştie. În practică temperatura de lucru se poate menţine uşor, însă experienţa oferă soluţii în ceea ce priveşte distanţa de pulverizare. În general distanţa este de 50...100 mm [60].

Ca materiale de pulverizare se folosesc aliaje fuzibile care se topesc la temperatură scăzută, sub 150°C. Metalele care intră în compoziţia acestor aliaje sunt: bismut, plumb, cadmiu, staniu. Când se cer puncte de topire extrem de joase, în compoziţia aliajelor se foloseşte şi indiu. Producerea de astfel de aliaje a constituit preocuparea mai multor firme ca: Wodd, Darcet, Rose, Lipowitz, etc. Cele mai reuşite rezultate le-a obţinut firma Minning & Chemical Products care a produs aliajele cele mai reuşite (aliaje MCP). Aproape toate aliajele MCP conţin bismut, un metal care la solidificare îşi măreşte volumul cu 3,3%. Prin ajustarea compoziţiei este posibil să se obţină aliaje cu stabilitate dimensională şi grad de creştere important. Aceste aliaje pot fi retopite de mai multe ori fără a-şi pierde proprietăţile mecanice, conductivitatea termică şi elasticitatea.

Aplicate pe modele de gips, lemn, răşini, ceară aceste aliaje pot reproduce cele mai fine detalii. Din punct de vedere al fabricantului de matriţe utilizarea aliajelor fuzibile are două avantaje importante referitoare la fidelitatea reproducerii. În primul rând pentru că la pulverizare este folosită o cantitate mică de căldură şi deci tensiunile termice în matriţă sunt foarte mici, ceea ce are ca rezultat tendinţe de deformare neglijabile. În al doilea rând aliajele fuzibile conţinând bismut nu au contracţii, la formare metalul pulverizat fiind

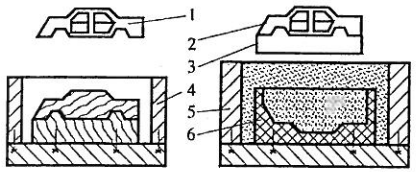


Fig.6.234. Executarea cuiburilor prin turnare de precizie:
1 - piesă injectată; 2 - model din lemn; 3 - placă de completare; 4 - ramă; 5 - ramă de formare; 6 - matriţă de turnare; a - realizarea matriţei din ipsos; b - realizarea cutiei de formare.

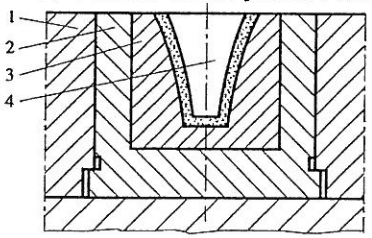


Fig.6.235. Cuibul unei matriţe obţinute prin galvanoplastie:
1 - placă matriţă; 2 - pastilă; 3 - bucşă zamac; 4 - coajă din nichel obţinută galvanoplastic.

o replică exactă a modelului.

Rezistenţa stratului depus pe model depinde de legătura dintre acest strat şi următorul, depinzând direct de temperatura de lucru. Pistolul nu trebuie trecut prea rapid peste model ci trebuie ţinut într-un loc un timp suficient pentru a apare o pată luminoasă, argintie, indicând că s-a format un film subţire, semilichid. Stratul depus pe un model trebuie deci să aibă nu numai un aspect corespunzător dar trebuie să aibă şi rezistenţă mecanică în vederea prelucrării prin aşchiere.

6.13.8. Fotocorodarea suprafeţelor cuiburilor

În domeniul matriţelor de injectat a pătruns în ultima perioadă, în vederea unor ornamentări complexe a suprafeţelor pieselor injectate, procedeul de fotocorodare chimică.

Acest procedeu presupune acoperirea suprafeţei matriţei, după configuraţia desenului, cu un mediu rezistent la acid. Astfel matriţa, având suprafeţele care nu trebuie corodate protejate, este imersată într-un acid compatibil cu materialul din care este construită matriţa (*fig.6.236*).

Fotocorodarea matriţelor, faţă de alte procedee de execuţie, presupune unele avantaje:

- reproducerea unor desene foarte complexe greu realizabile prin alte procedee;
- suprafaţa corodată este mai puţin sensibilă la mânuire (amprente, zgârâieturi, etc.);
- operaţia se execută la finalul execuţiei matriţei, după ce matriţa a fost finisată şi încercată;
- camuflează unele defecte de suprafaţă care apar în timpul procesului de injectare.

Toate suprafeţele matriţelor pot fi fotocorodate, dar ele trebuie să fie accesibile pentru a putea fi controlate înainte de corodare şi orice neregularitate corectată. Pe suprafeţele matriţei pot fi reproduse o varietate mare de efecte: piele, lemn, desene abstracte, suprafeţe în degrade, suprafeţe matisate, etc.

Adâncimea de gravare este determinată numai de caracterul său. Pe măsură ce adâncimea unei gravări creşte, distanţele dintre pereţii laterali ai fiecărei cavităţi se măresc (*fig.6.237.b*). Dacă muchia dintre două cavităţi este deosebit de fină, datorită atacului din ambele părţi în final va fi complet îndepărtată. Erodarea laterală variază de la un metal la altul şi nu poate fi controlată.

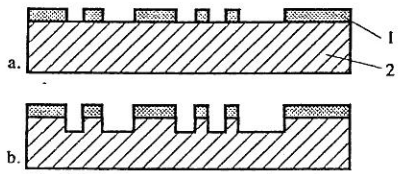


Fig.6.236. Reprezentarea schematică a fotocorodării matriţelor:
a - placă matriţă înainte de fotocorodare; b - placă matriţă după fotocorodare; 1 - material rezistent la acid; 2 - materialul plăcii matriţei.

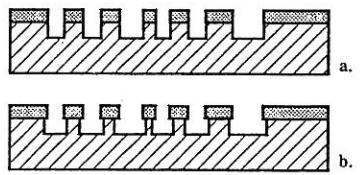


Fig.6.237. Fotocorodarea la o matriţă cu punerea în evidenţă a corodării laterale a pereţilor:
a - fotocorodare corectă; b - fotocorodare de adâncime mare.

Aproape toate materialele din care se confecționează matrițele pot fi fotocorodate. Cele mai comune sunt oțelurile cu conținut de crom și nichel. În mod normal conținutul de Ni nu trebuie să depășească 5%, iar Cr maximum 15%. Oțelurile cu conținut de sulf trebuie evitate cu orice preț deoarece sulful este distribuit în structura oțelului în formă de filoane. Aceste incluziuni se vor eroda diferențiat (mai adânc) decât materialul înconjurător. Ca urmare apar pe suprafața plăcii șanțuri, rizuri, adâncituri. Oțelurile de turnare pot fi folosite la fotocorodare, dar porozitatea lor inerentă și structura deschisă conduc la apariția de porozități în zona erodată. Pot fi corodate și alte metale: cupru, cupru-beriliu, aluminiu, alamă, etc.

Cel mai important dintre factorii care determină calitatea corodării este structura metalului. Orice variație structurală sau de consistență a unei plăci de matriță va conduce la variații de calitate a gravurii. Gradele diferite de corodare sunt cauzate de neregularitățile de pe suprafețele metalice, care la rândul lor sunt datorate deficiențelor din timpul prelucrării plăcii matriței.

La prelucrarea matriței în vederea execuției fotocorodării se va ține seama de următoarele indicații tehnologice:

- se vor folosi materiale de bună calitate. Cu cât este mai fină structura metalică cu atât gravura va fi mai fină. O matriță călită dă rezultate mai bune decât una cu suprafață nedurificată;
- pastilele cuprinse în placa matriței să fie din același material cu placa și aceeași direcționare granulară a structurii lor;
- în timpul prelucrării apar tensiuni în plăci. Trebuie acordată atenție calității sculelor aschietoare care determină supraîncălziri locale;
- la prelucrarea prin electroeroziune se produc durificări ale suprafeței care îngreunează fotocorodarea. Din acest motiv este necesară execuția unui tratament de normalizare;
- fotocorodarea se poate executa în stare moale sau durificată a materialului. Tratamentul termochimic de nitrurare se aplică după fotocorodare datorită stratului rezistent subțire și neregulat în profunzime;
- suprafețele corodate nu se lustruiesc;
- dacă există pastile pe suprafața corodată și acestea trebuiesc demontate, ele trebuie marcate pentru a fi așezate în poziția exactă;
- toate suprafețele care nu trebuie fotocorodate se definesc printr-o linie fină trasă pe suprafața matriței;
- dacă o parte a unei matrițe este prea grea, trebuie practicate găuri pentru inele de ridicare cu care matrița este scufundată în baia de acid.

6.13.9. Cromarea dură a suprafețelor matriței

Cromarea dură este o operație de depunere a cromului pe suprafața matrițelor de injectat în vederea îmbunătățirii calității suprafeței matriței. Cromarea dură se execută, în contrast cu alte procedee de tratare a suprafețelor, la temperaturi relativ joase și are prin aceasta anumite avantaje:

- durificarea suprafețelor fără deformare;
- rezistență ridicată la uzură;
- luciu deosebit al suprafeței;
- coeficienți de frecare redusă a suprafeței;
- rezistență chimică deosebită;

- rezistență la temperaturi înalte;
- aderență maximă la suprafața de bază.

Condiții preliminare cromării. Alegerea materialului de bază care va fi cromat este de mare importanță. Duritatea materialului trebuie să fie mare pentru a avea o rigidizare suficientă.

Este necesar ca materialul pentru cromare să fie curat, să nu prezinte porozități care pot duce la defecte ale stratului de crom.

Suprafețele care urmează să fie cromate trebuie să aibă o rugozitate mică obținută prin rectificare și șlefuire.

Alături de condițiile amintite până acum în vederea cromării se execută și următoarele operații de curățire, degresare și activare a suprafețelor. Aceste operații sunt:

- degresarea electrolitică;
- spălarea în apă caldă;
- coroziunea în baie de coroziune;
- tratarea în baie de crom dură.

Execuția cromării. Depunerea stratului de crom se realizează în băi de cromare dură și necesită, obligatoriu, straturi groase de crom. Spre deosebire de alte procedee electrolitice, la care depunerea aceluiași metal poate fi obținută în băi de compoziție diferită, în cazul cromului se utilizează în exclusivitate anhidrida cromică în calitate de debitor de ioni de crom. O baie de cromare conține anhidridă cromică, între 150...300 g/l, dizolvată în apă deionizată și un catalizator, acidul sulfuric, în cantitate de maximum 4 g/l.

Dacă în marea majoritate a băilor de electroliză se pot obține depozite metalice la catod, chiar la densități mici de curent, în cazul cromului există și o densitate de curent minimă sub care nu este posibilă depunerea cromului metalic. Sub densitatea de curent limită inferioară la catod se degajă hidrogen și nu se va depune metal. Dar și la densități prea mari de curent apar neplăceri. Depunerile devin rugoase, casante, neaderente. Cu cât intervalul dintre cele două limite a densității de curent devine mai strâns cu atât se obține o cromare dură mai bună.

Densitatea de curent se alege în funcție de temperatura de lucru în așa fel încât randamentul de curent să fie aproximativ 13%. Temperatura optimă de lucru în cazul băilor de cromare este 55°C.

În *fig.6.238* este prezentată dependența stratului de crom dur de densitatea de curent și temperatura electrolitului.

Băile de cromare lucrează în condiții de pătrundere foarte slabă. Date fiind condițiile riguroase impuse de obținerea unei depuneri de calitate nu se poate interveni pentru ameliorarea acestei puteri de pătrundere prin parametrii tehnologici obișnuiți. În acest caz se acționează prin folosirea de anozi profilați, astfel încât densitatea reală de curent să nu difere sensibil în diferite zone ale catodului.

De asemenea se acționează pentru o proiectare corespunzătoare a formei matriței pentru evitarea colțurilor (*fig.6.239*).

Cel mai indicat material anodic este plumbul cu un conținut de 7% antimoniu. Nu se utilizează anozi din crom metalic pentru că dizolvarea anodică a cromului se face cu randament de curent mult mai mare decât depunerea lui la catod și baia se va îmbogăți rapid în ioni de crom. Pe de altă parte cromul metalic este un material scump. Depunerea de metal la catod făcându-se pe seama ionilor de crom din soluție, periodic se face completarea băii cu anhidridă cromică.

Duritatea depunerilor de crom este remarcabilă putându-se ajunge până la o duritate de 900...1000HB.

6.13.10 Repararea matriţelor

Întreţinerea matriţelor de injectat şi supravegherea stării lor în timpul lucrului asigură exploatarea în bune condiţii.

Matriţele corespund scopului pentru care au fost constituite numai dacă sunt mereu în stare de funcţionare. Un defect observat la timp se poate înlătura cu uşurinţă, în timp ce un altul, nesesizat, poate duce la distrugeri imediate sau degradări în timp care se pot înlătura numai cu ajutorul unor reparaţii costisitoare.

În exploatare matriţa de injectat poate fi supusă unor:

- reparaţii accidentale;
- reparaţii curente;
- reparaţii capitale.

În exploatare pot apărea, în unele cazuri, defecţiuni accidentale ca urmare:

- a ruperii unor repere de matriţă (aruncătoare, poansoane, ştifturi, etc.);
- prinderii pieselor injectate între plăcile active ale matriţei în timpul închiderii matriţei;
- intervenţiei defectuoase a muncitorului în zona activă a matriţei.

Prinderea în tot timpul închiderii a unui reper de matriţă rupt, a unei inserţii sau chiar a unui reper injectat poate duce la mari distrugeri în cuibul matriţei. În foarte multe cazuri intervenţia în cuibul matriţei necesită introducerea unei pastile în zona deteriorată, pastilă care necesită prelucrări mecanice de ajustare la profilul cuibului, astfel încât urma să fie cât mai puţin vizibilă (*fig.6.240*).

În cazul în care condiţiile de estetică nu admit urme pe suprafaţa piesei, este necesar să se înlocuiască întreaga placă în care se află cuibul. Reparaţiile de acest fel sunt îngreunate de duritatea cuibului matriţei sau prezenţa stratului de crom pe suprafaţa matriţei. În cazul unei plăci cu duritate mare prelucrarea orificiului pentru introducerea pastilei se face prin electroeroziune. În cazul în care suprafaţa cuibului este acoperită cu un strat de crom este necesar, în vederea repărării matriţei, înlăturarea stratului de crom, introducerea pastilei şi depunerea unui nou strat de crom. Depunerea noului strat de crom înlătură orice urmă de pastilă pe suprafaţa cuibului (*fig.6.241*).

Pentru repararea cuiburilor matriţelor se foloseşte în unele cazuri metalele plastice. Metalele plastice sunt materiale chimice cu conţinut ridicat de metale în materialele de umplutură (până la 98%), fapt ce le conferă excelente însuşiri mecanice. Metalele plastice au un mod foarte simplu de aplicare: cele două componente, lichidul de întărire şi pulberea metalică, se pot amesteca în proporţia dorită pentru obţinerea unui lichid turnabil sau

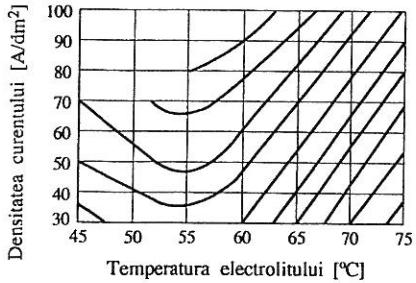


Fig.6.238. Dependenţa stratului de crom de densitatea curentului şi temperatura electrolitului.

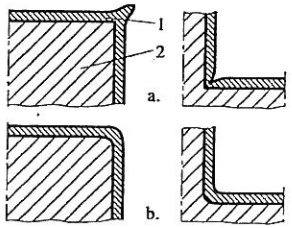


Fig.6.239. Depunerea stratului de crom pe suprafaţa matriţei:
a - piese proiectate greşit;
b - piese proiectate corect.

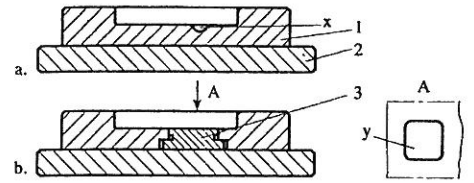


Fig.6.240. Repararea unei matriţe cu cuibul deteriorat:
a - matriţă înainte de reparare; b - matriţă după reparare;
1 - placă de formare; 2 - placă de prindere; 3 - pastilă;
x - zonă deteriorată; y - urmele pastilei.

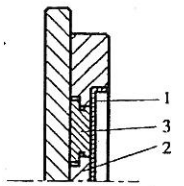


Fig.6.241. Repararea unei matriţe cu cuibul cromat:
1 - strat de crom;
2 - placă de formare; 3 - pastilă.

a unei paste groase. Timpul de întărire scurt (aproximativ 30 de min.) permite o prelucrare rapidă.

În cazul ruperii accidentale a unor elemente de matriţă: coloane de ghidare, colòane înclinate, ştifturi, poansoane, etc., acestea se înlocuiesc cu altele noi.

În exploatare sunt prevăzute pentru matriţă reparaţii curente care urmăresc: înlocuirea elementelor mecanice uzate, curăţirea circuitului de temperare, etc.

Cele mai uzuale elemente mecanice supuse uzurii sunt: coloanele şi bucşele de ghidare, coloanele înclinate, plăcile de ajustare ale bacurilor, ştifturile de centrare, bucşele de conducere, etc. Pentru elementele supuse procesului de uzură intensă se recomandă fabricarea lor din timp pentru a putea fi înlocuite rapid cele uzate. Folosirea elementelor tipizate de matriţă (coloane, bucşe, etc.) îşi dovedeşte cu prisosinţă utilitatea.

În cazul reparaţiilor curente ale matriţelor se înlocuiesc un număr redus de piese uzate sau se face reglarea de compensare a uzurii. Cu ajutorul fişei de evidenţă a matriţei se stabilesc termenele la care se execută aceste reparaţii.

Reparaţiile capitale se execută programat la un anumit număr de ore de funcţionare sau când defectele constatate impun demontarea completă a matriţei în vederea reparaţiei. În cazul reparaţiei capitale se face o examinare atentă a elementelor matriţei din punct de vedere al calităţii, dimensiunilor şi poziţiei reciproce a suprafeţelor. În urma constatărilor se stabilesc piesele ce urmează a fi înlocuite şi piesele ce se vor recondiţiona. După reparaţia capitală a matriţei se verifică dimensiunile cuibului şi poansoanelor în poziţie montată, se execută proba de matriţă şi se verifică dimensiunile piesei injectate în raport cu dimensiunile desenului.

6.14. Concepţia matriţei

La conceperea matriţei de injectat este necesar să se ia în considerare o mulţime de elemente de influenţă într-o anumită ordine logică (*fig.6.242*) [21].

6.14.1. Determinarea dimensiunii matriţei

Mărimea unei matriţe depinde în primul rând de mărimea maşinii de injectat, dar mai există şi alţi factori de care trebuie să se ţină seama:

- cantitatea de material pe care o injectează maşina;

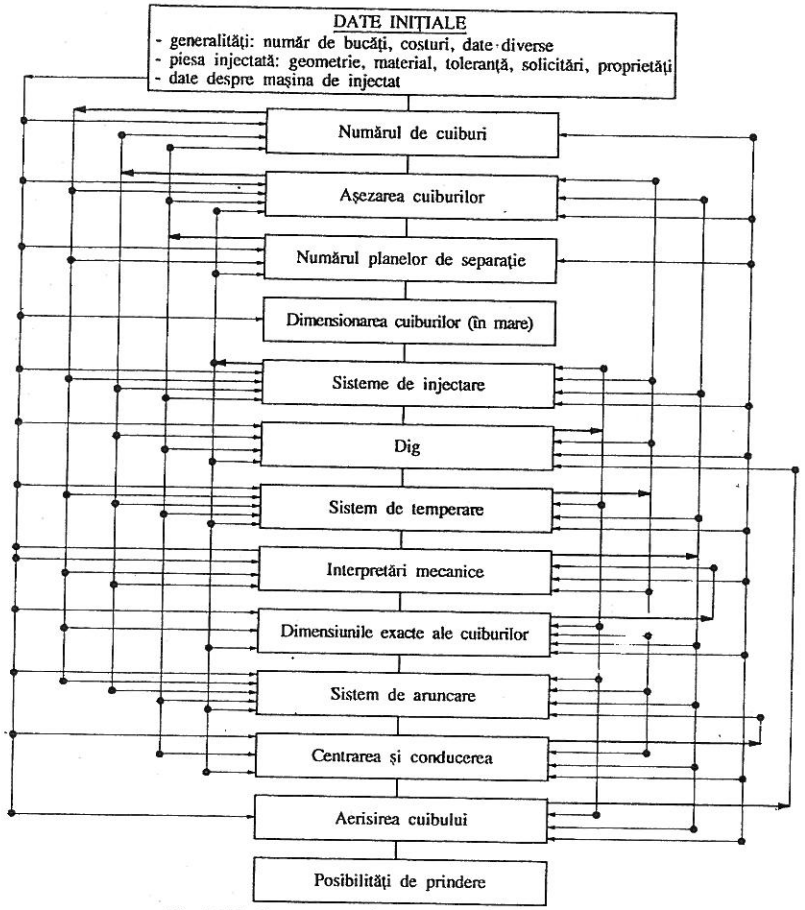


Fig.6.242. Schemă logică la conceperea unei matrițe.

- cantitatea de material pe care o poate plastifia mașina în unitatea de timp;
- suprafața maximă a platoului mașinii dată de distanța dintre coloane;
- forța de închidere a mașinii necesară compensării forței care ia naștere în cuibul matriței la presiune maximă.

Numărul teoretic maxim de cuiburi se calculează cu relația

$$N_1 = \frac{V_m}{V_p + V_r}, \tag{6.116}$$

unde:

- V_m - volumul maxim de injectare a mașinii [cm^3];
- V_p - volumul piesei injectate [cm^3];
- V_r - volumul rețelei [cm^3].

La calcularea lui N_1 s-a presupus că se folosește la o injectare întregul volum de material cuprins în cilindrul mașinii de injectare. În practică se folosește însă numai 80% din volumul de material plastifiat. Se calculează în alt mod numărul de cuiburi

$$N_2 = \frac{Q}{n(V_p + V_r)}, \tag{6.117}$$

unde:

- Q - rata de plastifiere sau cantitatea de material plastifiat pe care mașina o poate asigura în unitatea de timp [cm^3/min];
- n - numărul de injectări [1/min].

Este evident că

$$N_2 \leq N_1. \tag{6.118}$$

Pe cale empirică, pentru mașinile cu melc piston însă se folosește relația

$$0{,}4N_1 < N_2 < 0{,}8N_1, \tag{6.119}$$

Forța minimă de închidere a mașinii rezultă ca forță reactivă la forța care ia naștere în interiorul matriței (capitolul 3).

6.14.2. Determinarea numărului de cuiburi

Se observă din *fig.6.242* că determinarea numărului de cuiburi este primul pas al concepției matriței de injectat. Pentru determinarea numărului optim de cuiburi se iau în considerare atât criteriile tehnice cât și cele economice [21].

Dintre criteriile tehnice se specifică:

- forța de închidere a mașinii de injectat;
- capacitatea mașinii de injectat;
- rata de plastifiere a mașinii;
- factorul de utilizare a capacității mașinii;
- dimensiunile platourilor mașinii;
- condiții reologice la umplerea cuiburilor matriței.

Criteriile economice se bazează pe analiza costurilor:

- costurile de bază ale societății (producție, aprovizionare, vânzare, etc.);
- costurile cu mașina de injectat (amortizare, întreținere, energie, utilități, etc.);
- costurile cu matrita (proiectare, material, confecție, etc.);
- costuri indirecte cu matrița (montare, probe, întreținere);
- costuri ale produsului (material, prelucrări ulterioare).

Există mai multe metode de determinare a numărului de cuiburi [21].

Numărul empiric de cuiburi N_e. Dacă nu se cunosc alte informații despre piesa injectată decât geometria, materialul și cantitatea, există posibilitatea determinării empirice a numărului de cuiburi folosind diagrama din *fig.6.243.*

Numărul de cuiburi pe baza cerințelor de calitate N_c. Dacă se cere unei piese injectate o precizie dimensională ridicată este necesar să se țină seama de aceste cerințe la determinarea numărului de cuiburi. Reducerea numărului de cuiburi este necesară a se realiza, chiar și la cantități mari de piese, atunci când pretențiile de calitate ale piesei injectate sunt mari.

Numărul de cuiburi pe baza datelor de livrare N_l. Atunci când se impune un termen de livrare ferm, numărul de cuiburi se determină cu relația

$$N_l = \frac{12kZt_t}{3600n(t_0 - t_{cm})}, \tag{6.120}$$

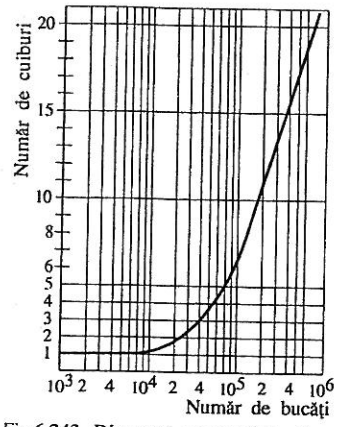


Fig.6.243. Diagramă pentru determinarea numărului de cuiburi.

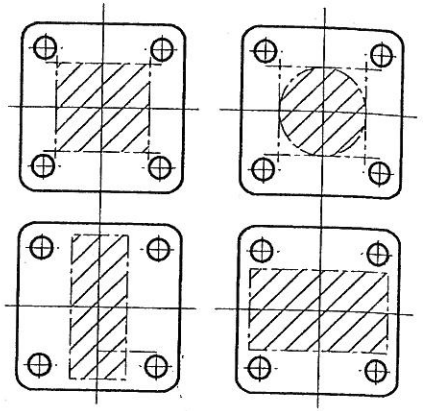


Fig.6.244. Aria proiectată a cuiburilor pe platoul mașinii de injectat.

unde:

- k - coeficient ce ține seama de numărul de rebuturi (rebuturi 5%, k=1,05);
- Z - numărul de bucăți pe matriță;
- t_t - timpul total al ciclului de injectare [s];
- n - numărul de ore pe an lucrate [h];
- t_0 - timpul de realizare a comenzii [luni];
- t_{em} - timpul de execuție a matriței [luni];
- $t_0 - t_{em}$ - tipul de producție netă [luni].

Numărul real de cuiburi N trebuie să respecte relația

$$N \geq N_1 . \tag{6.121}$$

Dacă există o diferență semnificativă între numărul real N și numărul N_1 pe baza datelor de livrare, data de livrare trebuie schimbată.

Numărul de cuiburi pe baza datelor tehnice N_t. Datele tehnice pot sta la baza determinării numărului de cuiburi luând în considerare informațiile despre mașina de injectat și piesa de injectat.

Pe baza forței de închidere se determină numărul de cuiburi N_{t1} cu relația

$$N_{t1} = \frac{10 c_d F_i}{S p_i}, \tag{6.122}$$

unde:

- c_d - coeficient de siguranță împotriva deschiderii (c_d = 1,2...1,5);
- F_i - forța maximă de închidere [kN];
- p_i - presiunea maximă de injectare [MPa];
- S - aria proiectată a piese injectate și a rețelei de injectare [cm^2].

Pe baza capacității minime de injectare se determină numărul de cuiburi N_{t2} cu relația

$$N_{t2} = 0{,}2 \frac{V}{V_p + V_r}, \tag{6.123}$$

unde:

- V - volumul de injectare a unității de injecție [cm^3];
- V_p+V_r - volumul piesei injectate și al rețelei de injectare [cm^3].

Acest criteriu garantează că timpul de staționare nu este excesiv de lung.

Pe baza capacității maxime de injectare se determină numărul de cuiburi N_{t3} cu relația

$$N_{t3} = 0{,}8 \frac{V}{V_p + V_r}. \tag{6.124}$$

Acest criteriu garantează că materialul termoplastic topit este termic și mecanic suficient de omogen.

Pe baza ratei de plastifiere se determină numărul de cuiburi N_{t4} cu relația

$$N_{t4} = \frac{3{,}6 t_t Q}{(V_p + V_r)\rho}, \tag{6.125}$$

unde:

- t_t - timpul total de ciclu [s];
- Q - rata de plastifiere [kg/h];
- V_p+V_r - volumul piesei injectate și al rețelei de injectare [cm^3];
- ρ - densitatea materialului plastic [kg/dm^3].

Numărul maxim de cuiburi N_{t5}, calculat pe baza mărimii platoului mașinii, se determină folosind aria proiectată a cuiburilor care pot fi dispuse pe platoul mașinii (*fig.6.244*).

Numărul de cuiburi N_{t6}, calculat pe baze reologice, se determină luând în considerare posibilitățile de umplere a cuiburilor matriței pentru o anumită dispunere. Pentru a se asigura presiunea de umplere a cuibului este nevoie de o presiune de injectare exterioară care să asigure curgerea materialului plastic prin culee, rețea de injectare și dig. Este necesar în acest caz să se ia în considerare dispunerea cuiburilor (*fig.6.245*).

Se poate folosi o relație pentru determinarea maximă a drumului de curgere

$$L_{max} = \frac{\pi \Delta p R^4}{8 \cdot 10^6 \eta Q}, \tag{6.126}$$

unde:

- Δp - pierderea de presiune [Pa];
- R - raza canalului [cm];
- η - vâscozitatea aparentă [Pa·s];
- Q - debitul de material [cm^3/s].

Relația (6.126) este determinată luând în considerare un canal de secțiune circulară de rază R (se consultă capitolul 6.3.2.2.).

Analizând într-o diagramă numărul maxim și minim de cuiburi în funcție de diferitele cerințe se poate determina numărul optim de cuiburi N_{op} (*fig.6.246*).

Numărul de cuiburi determinat pe criterii economice N_{ce}. O producție economică trebuie să asigure un preț de vânzare suficient de mare față de costurile de producție. Proiectantul de matrițe trebuie să ia în considerare aceste criterii la determinarea numărului de cuiburi. Se pot determina prin calcul costurile [21].

Luând în considerare datele tehnice și cele economice se poate stabili numărul optim de cuiburi N_{opt}.

6.14.3. Echilibrarea forțelor în matriță

În capitolul 3 s-au studiat diferitele sisteme de injectare a materialului termoplastic în matrița de injectat. Presiunea din matriță se exercită, în funcție de sistemul de injectare, în cuiburi și în sistemul de canale care compun rețeaua de injectare. Astfel,

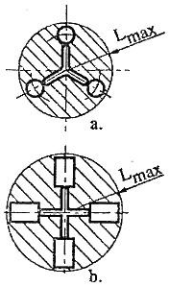


Fig.6.245. Determinarea numărului de cuiburi pe baza datelor reologice: a - matriţă cu trei cuiburi; b - matriţă cu patru cuiburi.

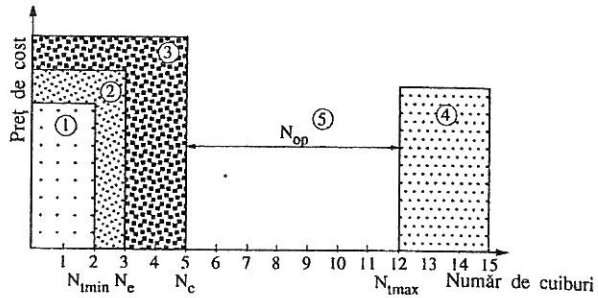


Fig.6.246. Determinarea numărului optim de cuiburi:
1 - numărul minim de cuiburi tehnic realizabil ($N_{t\ min}$);
2 - numărul de cuiburi cu respectarea termenului de livrare (N_e);
3 - numărul de cuiburi cu respectarea calităţii cerute (N_c);
4 - numărul de cuiburi tehnic realizabil ($N_{t\ max}$);
5 - domeniul de determinare (N_{op} - numărul optim de cuiburi).

ia naştere în interiorul matriţei o forţă rezultantă ca urmare a presiunii exercitate. Deoarece forţa de închidere a maşinii de injectat este aplicată în centrul de simetrie al platourilor maşinii este necesar ca şi forţa care ia naştere în matriţă să fie aplicată tot în centrul de simetrie al platourilor.

Dacă forţa rezultantă, ca urmare a presiunii în matriţă, nu este aplicată în centrul de simetrie al platourilor este posibil să se producă un dezechilibru în raport cu forţa de închidere a maşinii. În urma dezechilibrării celor două forţe şi ca urmare a frecărilor existente între coloanele şi bucşele de ghidare din matriţă şi maşină, există posibilitatea curgerii materialului plastic în planul de separaţie al matriţei (*fig.6.247*). Apariţia bavurii în planul de separaţie duce la obţinerea unor piese necorespunzătoare calitativ precum şi la distrugerea în timp a matriţei ca urmare a deformării plăcilor de formare în planul de separaţie.

În cazul cuiburilor simetrice sau în cazul mai multor cuiburi dispuse simetric se realizează echilibrarea forţelor în matriţă (*fig.6.248.a, b*).

În cazul unui cuib cu suprafaţă asimetrică sau în cazul unor cuiburi cu suprafeţe diferite în planul de separaţie trebuie acordată atenţie echilibrării forţelor în matriţă. În acest caz se determină centrul de greutate ca în cazul plăcilor omogene. Se descompune suprafaţa proiectată a piesei în suprafeţe simple componente

$$S = \sum S_i . \tag{6.127}$$

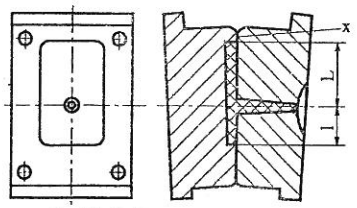


Fig.6.247. Exemplu de matriţă dezechilibrată ($l < L$): x - zonă favorabilă apariţiei bavurii.

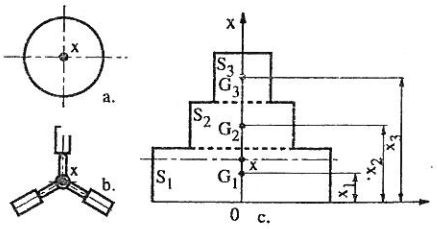


Fig.6.248. Piese injectate în matriţă: a - piesă circulară; b - piesă injectată în matriţă cu trei cuiburi aşezate simetric; c - piesă asimetrică.

Se raportează suprafaţa S şi suprafeţele S_i la un sistem de axe rectangulare $x0y$. Coordonatele centrului de greutate $G(x_G, y_G)$ se determină cu formulele [63]

$$x_G = \frac{\sum x_i S_i}{\sum S_i}; \tag{6.128}$$

$$y_G = \frac{\sum y_i S_i}{\sum S_i}, \tag{6.129}$$

unde:

- x_i, y_i - distanţele centrelor de greutate ale suprafeţelor simple în raport cu axele $x0y$;
- S_i - suprafeţe simple.

În *fig.6.248.c* suprafaţa piesei este simetrică cu Ox, deci centrul de greutate se găseşte pe axa x. Se descompune suprafaţa piesei în trei suprafeţe simple (S_1, S_2, S_3) pentru care se cunosc centrele de greutate (G_1, G_2, G_3). Se determină cu formula (6.128) poziţia centrului de greutate $G(x_G, 0)$.

$$x_G = \frac{\sum x_i S_i}{\sum S_i} = \frac{x_1 S_1 + x_2 S_2 + x_3 S_3}{S_1 + S_2 + S_3} = \frac{x_1 S_1 + x_2 S_2 + x_3 S_3}{S}.$$

Se pot ivi unele situaţii în care totuşi echilibrarea nu este posibilă. În acest caz, dezechilibrul creat între forţele P şi P_1 este compensat de forţa P_2 creată prin introducerea barei de compensare *2* (*fig.6.249*).

6.14.4. Deformări în matriţă

Matriţele de injectat sunt supuse unor solicitări mari. Deoarece cu matriţele se execută piese injectate cu cerinţe de precizie ridicată, pe lângă contracţia materialului plastic care determină modificări ale dimensiunilor piesei, trebuie luată în considerare şi deformaţia matriţei în legătură cu dimensiunea finală a piesei injectate.

Deformarea elementelor de matriţă depinde de presiunea de injectare, de mărimea suprafeţei supuse presiunii şi de geometria elementului matriţei. La elementele matriţei de injectare apar în total trei feluri de deformare: prin încovoiere, forfecare şi compresie. Toate aceste feluri de deformări apar simultan, însă au importanţă diferită în fiecare element de matriţă în parte. La plăcile de matriţă rolul esenţial îl joacă deformările de încovoiere şi de forfecare în timp ce la plăcile de sprijin sau tampoane deformările prin compresiune sunt cele mai importante.

La o matriţă de injectat pot exista:

- deformări transversale faţă de direcţia de demulare (*fig.6.250*);
- deformări în direcţia de demulare, respectiv de închidere a matriţei (*fig.6.251*);
- deformări ale elementelor de închidere ale maşinii (coloane, braţe de închidere, etc.);
- deformări ale ştifturilor de aruncare.

În urma presiunii interioare din matriţă, suprafeţele frontale ale cuibului se deformează mai mult decât suprafeţele frontale ale aruncătoarelor, astfel că pe suprafeţele frontale ale cuibului apar diferenţe de înălţime între cuib şi aruncător.

Pentru a studia deformările unei matriţe se studiază deformările plăcilor matriţei la care deformările prin încovoiere şi forfecare sunt preponderente. Deformările la încovoiere

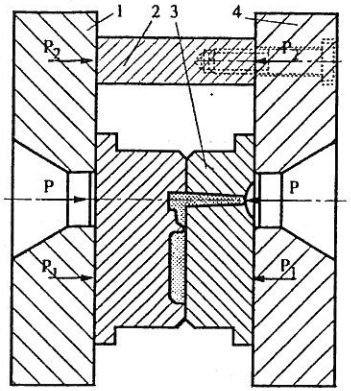


Fig.6.249. Soluție constructivă pentru echilibrarea forțelor la o matriță dezechilibrată:
1 - platou mobil; 2 - bară de compensare; 3 - matriță; 4 - platou mobil.

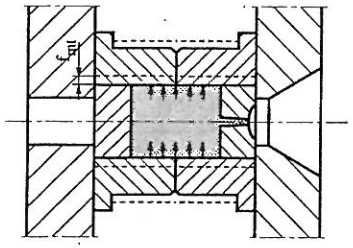


Fig.6.250. Deformarea transversală la o matriță de injectat:
f_{mt} - deformarea matriței pe direcție transversală.

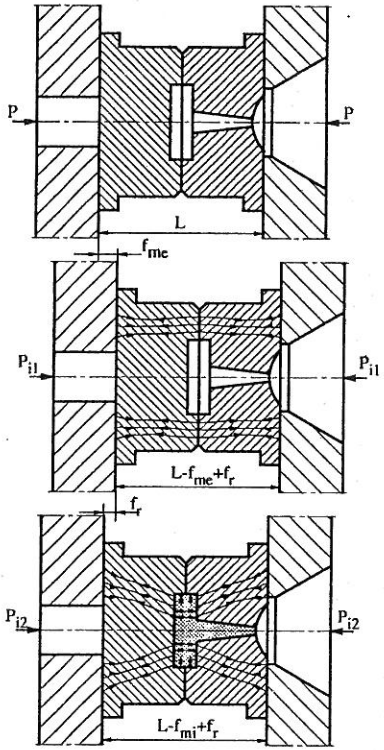


Fig.6.251. Deformarea longitudinală la o matriță de injectat:
L - lungimea inițială a matriței înainte de aplicarea forței de închidere; P_{i1} - forța de închidere; P_{i2} - forța de închidere după aplicarea presiunii în matriță; f_{m1} - deformarea longitudinală a matriței în urma aplicării forței de închidere; f_r - deformarea în urma revenirii elastice a matriței și a sistemului de închidere.

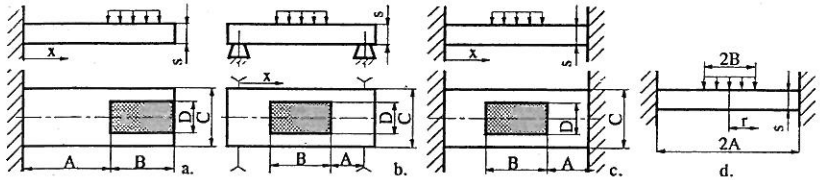


Fig.6.252. Plăci plane încărcate simetric:
a - placă dreptunghiulară încastrată la un capăt; b - placă dreptunghiulară rezemată la ambele capete; c - placă dreptunghiulară încastrată la ambele capete; d - placă circulară încastrată pe contur.

ale plăcilor fac obiectul de studiu a mai multe lucrări care, pornind de la ecuații generale, stabilesc formule pentru cazuri particulare [64, 65, 66, 67].

Pentru o simplificare suplimentară se consideră, în cazul matriței, numai sarcină uniform distribuită și încărcare simetrică. În lucrarea [68] se oferă ecuații pentru calculul deformărilor la plăcile matriței:

- placă dreptunghiulară încastrată la un capăt (*fig.6.252.a*)

$$f_i=\frac{12p(1-\upsilon^2)D}{Ecs^3}\left[\frac{1}{24}x^4-\frac{(A+B)}{6}x^3+\frac{(A+B)^2}{4}x^2-\frac{A^3}{B}x+\frac{A^4}{24}\right]; \quad (6.130)$$

$$f_f=\frac{2,4p(1-\upsilon^2)D}{Ecs}\left[-\frac{1}{2}x^2+(A+B)x-\frac{A^2}{2}\right]; \quad (6.131)$$

- placă dreptunghiulară rezemată la ambele capete (*fig.6.252.b*)

$$f_i=\frac{12p(1-\upsilon^2)D}{Ecs^3}\left[\frac{1}{24}x^4-\frac{2A+B}{12}x^3+\frac{A^2}{4}x^2+\left(\frac{B(2A+B)^2}{16}-\frac{(2A+B)^3}{48}+\frac{A(2A+B)^2}{8}-\frac{A^2(2A+B)}{4}\right)x+\frac{A^4}{24}\right] \quad (6.132)$$

$$f_f=\frac{1,2p(1+\upsilon)D}{Ecs}\left[-x^2+(2A+B)x-A^2\right]; \quad (6.133)$$

- placă dreptunghiulară încastrată la ambele capete (*fig.6.252.c*)

$$f_i=\frac{12p(1-\upsilon^2)D}{Ecs^3}\left[\frac{1}{24}x^4-\frac{2A+B}{12}x^3+\left(-\frac{(2A+B)^2}{24}+\frac{A(2A+B)}{4}+\frac{B(2A+B)}{8}+\frac{A^3}{3(2A+B)}\right)\frac{x^2}{2}-\frac{A^3}{6}x+\frac{A^4}{24}\right]; \quad (6.134)$$

$$f_f=\frac{1,2p(1+\upsilon)D}{Ecs}\left[-x^2+(2A+B)x-A^2\right]; \quad (6.135)$$

- placă circulară încastrată pe contur (*fig.6.252.d*)

$$f_i=\frac{3p(1-\upsilon^2)}{2Es^3}\left[\frac{1}{8}r^4-\frac{B^4}{4A^2}r^2+\left(\frac{B^2}{2}+r^2B^2\right)\ln\frac{B}{A}+\frac{A^2B^2}{2}-\frac{3B^4}{8}\right]; \quad (6.136)$$

$$f_f=\frac{1,5p(1+\upsilon)}{2Es}\left[(B^2-r^2)+2B^2\ln\frac{A}{B}\right], \quad (6.137)$$

unde:

- A, B, C, D - dimensiuni geometrice prezentate în *fig.6.252*;
- E - modulul de elasticitate longitudinal;
- s - grosimea plăcii;
- x, r - variabile;
- ν - coeficient de contracție transversală.

La matrițele de injectat elementele de calcul oferite pentru plăci plane nu sunt suficiente, matrița prezentând construcții complexe. Există totuși posibilitatea ca construcțiile complicate să se desfacă în elemente individuale simple. Deformarea totală rezultă din combinarea deformărilor elementelor simple. Procedeul de suprapunere al deformațiilor elementelor matriței se bazează pe modalitatea de compunere a elementelor elastice considerând matrița un sistem format din elemente elastice [21, 68].

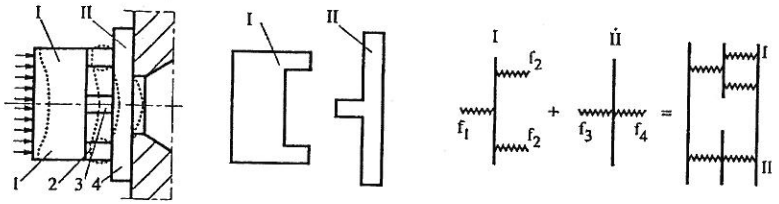


Fig.6.253. Calculul deformării la semimatrița fixă prin procesul de suprapunere a deformațiilor:
1 - placă de formare; 2 - bare de sprijin; 3 - suport; 4 - placă de prindere; I, II - subsamble.

Se consideră semimatrița de injectat din *fig.6.253*. Pentru a calcula deformarea totală a matriței ca urmare a exercitării presiunii P se consideră matrița ca un sistem elastic complex compus din două subansamble mai simple. Pentru subansamblul I elementele elastice sunt în serie, deci deformarea totală f_1' se calculează cu relația

$$f'_1 = f_1 + \frac{f_2}{2}, \tag{6.138}$$

unde:
- f_1 - deformarea plăcii de formare;
- f_2 - deformarea barei de reazem 2.

Pentru subansamblul II elementele elastice sunt în serie, deci deformarea totală f_2' se calculează cu relația

$$f'_2 = f_3 + f_4, \tag{6.139}$$

unde:
- f_3 - deformarea reazemului 3;
- f_4 - deformarea plăcii de prindere 4.

Deformarea totală f se calculează ca urmare a montajului în paralel a sistemelor elastice I și II

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f_2}. \tag{6.140}$$

Cu relațiile (6.138) și (6.139), relația (6.140) devine

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1 + \frac{f_2}{2}} + \frac{1}{f_3 + f_4}. \tag{6.141}$$

Folosind de mai multe ori legarea paralelă și în serie, procedeul de suprapunere a deformațiilor este aplicabil și la sisteme mai complicate.

Pentru matrițele de injectat se recomandă în lucrările [21, 68] deformările admisibile până la care nu apar bavuri la piesa injectată. Astfel:
- pentru termoplastele cristaline (PP, PA, PAFS, POM, PE): 0,015...0,02 mm;
- pentru termoplastele amorfe (PS, ABS, PC, PMMA): 0,02...0,03 mm.

6.14.5. Dimensionarea și deformarea cuiburilor cilindrice

Pentru dimensionarea cuiburilor cilindrice la o mașină de injectat se folosesc relațiile de calcul pentru tuburile cu pereți groși [64, 65, 66, 67, 69]. Există două cazuri distincte

de calcul: cuiburi supuse la presiune interioară și cuiburi supuse la presiune exterioară.

Cuiburi supuse la presiune interioară *(fig.6.254)*. Într-un tub gros supus la presiune interioară iau naștere eforturi unitare tangențiale σ_t și eforturi unitare radiale σ_r. Eforturile unitare maxime se calculează cu relațiile ($r = r_i$)

$$\sigma_{t\,max} = \frac{p_i(r_i^2 + r_e^2)}{r_e^2 - r_i^2}, \tag{6.142}$$

unde:

$$\sigma_{r\,max} = -p_i, \tag{6.143}$$

- p_i - presiunea din interiorul cilindrului;
- r_e - raza exterioară a cuibului;
- r_i - raza interioară a cuibului.

Variația eforturilor unitare poate fi urmărită în *fig.6.254*.

În general, diametrul interior d_i al cuibului se stabilește constructiv. Pentru dimensionare se determină diametrul exterior D al cuibului folosind ipoteza II de rezistență (ipoteza deformației maxime; $\nu = 0{,}3$) [64].

Se folosește relația

$$r_e = r_i\sqrt{\frac{\sigma_a + 0{,}7\,p_i}{\sigma_a - 1{,}3\,p_i}}, \tag{6.144}$$

unde:
- σ_a - efortul unitar admisibil al materialului cuibului.

Există situații în care raza interioară și raza exterioară se determină constructiv. În acest caz se calculează efortul unitar echivalent după teoria II de rezistență

$$\sigma_e = p_i\left(\frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} + \nu\right). \tag{6.145}$$

Cuibul este corect dimensionat dacă

$$\sigma_e \le \sigma_a. \tag{6.146}$$

Deplasarea f, a unui cuib supus la presiune interioară, se calculează cu relația

$$f = \frac{p_i r_i}{E}\left(\frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} + \nu\right), \tag{6.147}$$

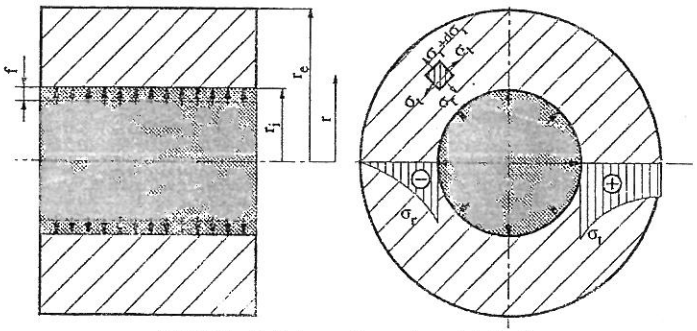


Fig.6.254. Cuib supus la presiune interioară:
p_i - presiune interioară; σ_r - efort unitar radial; σ_t - efort unitar tangențial.

unde:

- E - modulul de elasticitate longitudinal;
- ν - coeficientul de contracție transversală ($\nu = 0{,}3$).

Valorile pentru E și μ pentru diferite materiale se dau în *tab.6.22.*

Cuib supus la presiune exterioară *(fig.6.255).* Într-un tub gros supus la presiunea exterioară p_e iau naștere eforturi unitare tangențiale σ_t și eforturi unitare radiale σ_r. Eforturile unitare maxime se calculează cu relația:

- la $r = r_i$

$$\sigma_{t\,max} = -\frac{2p_e r_e^2}{r_e^2 - r_i^2}; \tag{6.148}$$

- la $r = r_e$

$$\sigma_{r\,max} = -p_e. \tag{6.149}$$

Folosind ipoteza *II* de rezistență se poate determina r_i cunoscând constructiv r_e

$$r_i = \frac{r_e}{\sqrt{\frac{\sigma_a + 1{,}6\,p_e}{\sigma_a + p_e}}}. \tag{6.150}$$

În cazul verificării, atunci când se cunosc constructiv r_e și r_i se calculează efortul unitar echivalent după teoria *II* de rezistență

$$\sigma_e = p_e\left(\frac{\mu r_e^2}{r_e^2 - r_i^2} - 1\right). \tag{6.151}$$

Cuibul este dimensionat corect dacă

$$\sigma_e \le \sigma_a. \tag{6.152}$$

Deplasarea f a unui cuib supus la presiune exterioară se calculează cu relația

$$f = -\frac{p_e r_e}{E}\left(\frac{r_e^2 + r_i^2}{r_e^2 - r_i^2} - \nu\right). \tag{6.153}$$

Cuib cilindric cu fund supus la presiune interioară *(fig.6.256).* Într-un tub cu fund supus la presiune interioară apar eforturi unitare tangențiale σ_t, eforturi unitare radiale σ_r și eforturi unitare normale σ_x, paralele cu axa tubului.

Pentru eforturile unitare maxime $\sigma_{t\,max}$ și $\sigma_{r\,max}$ sunt valabile relațiile (6.142) și (6.143).

Efortul unitar normal se calculează cu relația

$$\sigma_x = \frac{p_i r_i^2}{r_e^2 - r_i^2}. \tag{6.154}$$

Tab.6.22. **Valorile constantelor *E, G* și *U* pentru diferite materiale.**

Denumirea materialului	E [kgf/cm^2]	G [kgf/cm^2]	μ
Oțel carbon	$(2...2{,}1)\cdot10^6$	$8{,}1\cdot10^5$	0,24...0,28
Oțel aliat	$2{,}1\cdot10^6$	$8{,}1\cdot10^5$	0,25...0,30
Oțel turnat	$1{,}75\cdot10^6$	-	-
Alamă laminată la rece	$(0{,}91...0{,}99)\cdot10^6$	$(3{,}5...3{,}7)\cdot10^5$	0,32...0,42

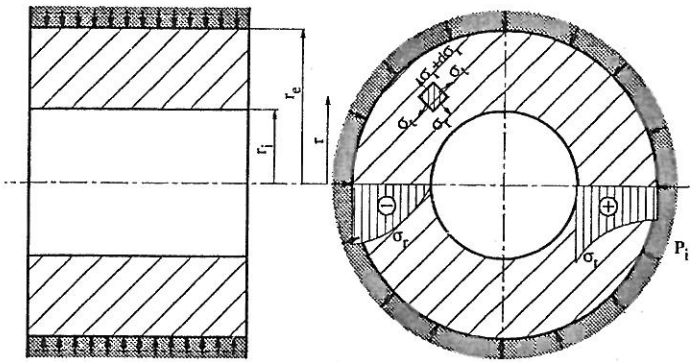


Fig.6.255. Cuib cilindric supus la presiune exterioară:
p_e - presiune exterioară; σ_r - efort unitar radial; σ_t - efort unitar tangențial.

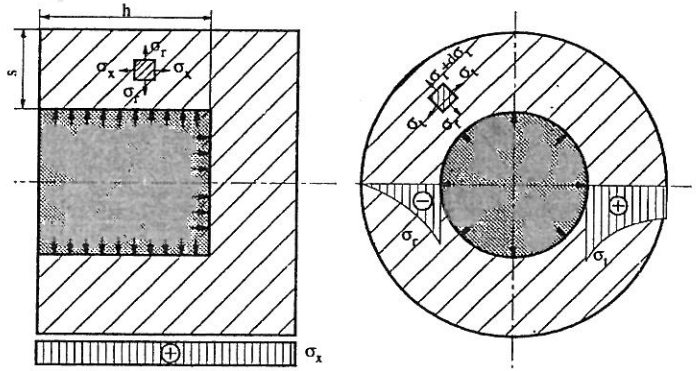


Fig.6.256. Cuib cilindric cu fund supus la presiune interioară:
p_i - presiune interioară; σ_r - efort unitar radial; σ_t - efort unitar tangențial; σ_x - efort unitar normal.

Se folosește ipoteza *II* de rezistență (ipoteza deformațiilor maxime)

$$\sigma_e = \sigma_i - \mu(\sigma_2 + \sigma_3). \tag{6.155}$$

Introducând în relația (6.155) $\sigma_e = \sigma_a$ și $\mu = 0{,}3$, se poate determina raza exterioară a cuibului r_e.

Eforturile unitare σ_1, σ_2, σ_3, respectă ordinea

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3. \tag{6.156}$$

Pentru verificarea cuibului, atunci când se cunosc r_e și r_i se folosește relația (6.155) punând condiția

$$\sigma_e \le \sigma_a. \tag{6.157}$$

Deformarea elastică a cuibului în acest caz se calculează folosind principiul suprapunerii deformațiilor (deformație la încovoiere și forfecare). Deformarea totală se calculează cu relația

$$f = \frac{3ph^4}{2Es^3} + \frac{3{,}12\,ph^2}{2Es}. \tag{6.158}$$

6.14.6. Dimensionarea și deformarea cuiburilor care nu sunt cilindrice

Dacă cavitățile matrițelor sunt mărginite de suprafețe plane pot există mai multe cazuri de solicitare. Cazurile practice de solicitare pentru astfel de cuiburi pot fi cuprinse între cazurile prezentate în *fig.6.257* [21].

În *fig.6.257.a* este prezentat cazul unei plăci încastrate la un capăt care se deformează ca rezultat a încărcării cu o sarcină uniform distribuită. Săgeată totală, ca urmare a suprapunerii efectelor de încovoiere și forfecare, se va calcula cu formula

$$f = \frac{3ph^4}{2Es^3} + \frac{3{,}19ph^2}{2Es}. \qquad (6.159)$$

În stare închisă, la o matriță de injectat, pe suprafața de închidere acționează forțe de frecare. Acestea împiedică deschiderea cuibului, dar nu se poate lua în considerare o fixare rigidă la solicitarea de încovoiere.

În *fig.6.257.b* este prezentat cazul unei plăci încastrate pe contur care se deformează ca urmare a încărcării cu o sarcină uniform distribuită. Săgeata totală, ca urmare a suprapunerii efectelor de încovoiere și forfecare, se va calcula cu formula

$$f = \frac{3ph^4}{32Es^3} + \frac{1{,}33ph^2}{4Es}. \qquad (6.160)$$

Câteva cazuri practice sunt prezentate mai jos.

În *fig.6.258* cuibul cu suprafața laterală plană se poate considera o placă dreptunghiulară încastrată pe contur încărcată cu sarcină uniform distribuită. În *fig.6.259* peretele cuibului cu suprafața laterală plană se poate considera o placă dreptunghiulară încastrată la un capăt și încărcată cu sarcină uniform distribuită.

6.14.7. Dimensionarea și deformarea plăcilor matriței

Ca urmare a presiunii exercitate de materialul plastic asupra poansonului *6* și a plăcilor de formare *5* și *7* placa de sprijin *4* și placa de prindere *8* sunt solicitate la încovoiere și forfecare (*fig.6.260*).

Placa de sprijin *4* se consideră o placă fixată rigid pe contur și încărcată cu sarcină uniform distribuită. Ea se deformează sub sarcină fiind solicitată la încovoiere și forfecare. Săgeata se calculează cu relația (6.160).

Placa de prindere *8*, fixată pe platoul *9* prevăzut cu gaură de centrare de diametru *D*, se consideră o placă de diametru *D* încastrată pe contur și încărcată cu sarcină uniform distribuită. Ca urmare a solicitării de încovoiere și forfecare, săgeata se calculează cu relația

$$f = \frac{6pD^4}{569Es^3} + \frac{1{,}3pD^2}{8Es}. \qquad (6.161)$$

Pentru a diminua deformarea plăcii de sprijin se folosesc soluții constructive de sprijinire (*fig.6.261*).

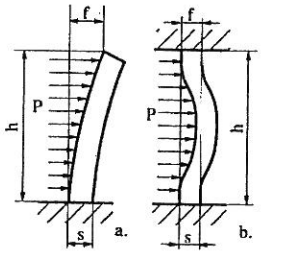


Fig.6.257. Cazuri de solicitări la cuiburile mărginite de suprafețe plane:
a - placă încastrată la un capăt;
b - placă încastrată pe tot conturul.

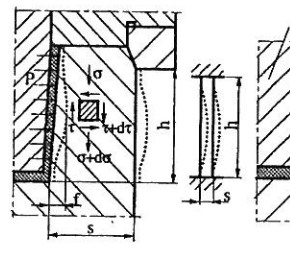


Fig.6.258. Cuib cu suprafețe plane:
1 - poanson; 2 - prismă de închidere; 3 - cuib.

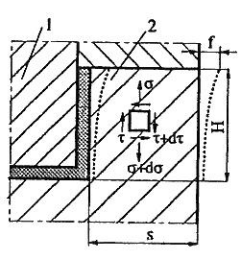


Fig.6.259. Cuib cu suprafețe plane:
1 - poanson; 2 - placă.

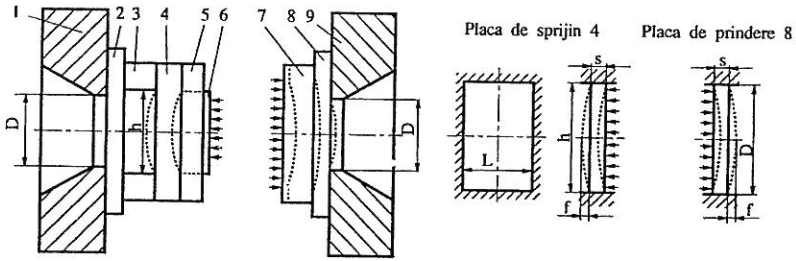


Fig.6.260. Deformarea plăcilor matriței:
1 - platou mobil; 2 - placă de prindere; 3 - bară distanțieră; 4 - placă de sprijin;
5 - placă de formare; 6 - poanson; 7 - placă de formare; 8 - placă de prindere; 9 - platou fix.

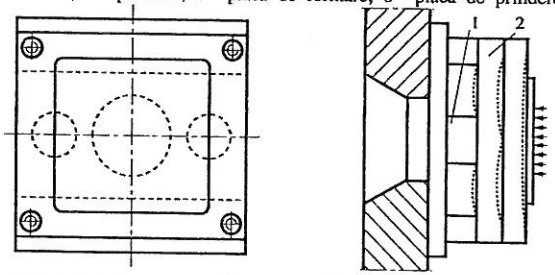


Fig.6.261. Soluție constructivă pentru reducerea săgeții plăcii de sprijin:
1 - tampon; 2 - placă de sprijin.

6.14.8. Procedeu de calcul

În vederea dimensionării cuiburilor și a plăcilor matriței se va proceda în felul următor:

- se va determina contracția prevăzută;
- se va dimensiona grosimea de perete.

Contracția prevăzută este o măsură a grosimii maxime a peretelui matriței.

Contracția se poate determina teoretic din diagrama *p-V-T* (*fig.5.85*), cap.5.3.2. și formulele [21]:

- contracția efectivă pe grosimea piesei injectate

$$C_{ref} = 0,9 - 0,95C_v; \quad (6.162)$$

- contracția efectivă pe lungimea piesei injectate

$$C_{lef} = 0,1 - 0,05C_v, \quad (6.163)$$

unde:

- C_v - contracție volumică.

O bună valoare orientativă pentru C_v se oferă de către producătorii de materiale plastice.

Deformarea elastică a matriței trebuie să fie mai mică decât contracția la care ne așteptăm. Deformațiile matriței se calculează cu formulele (6.147), (6.158), (6.159), (6.160) și (6.161). În calcule se poate lua în considerare: $p = 600$ bari și $E = 21000 \cdot 10^7$ N/m^2.

Deformările maxime admisibile ale plăcilor matriței, pentru diferite materiale plastice, sunt recomandate în cap.6.14.4.

6.14.9. Dimensionarea și deformarea poansoanelor

În matrițele de injectat întâlnim, la realizarea formei geometrice a piesei injectate, poansoane de diferite forme (piese injectate în formă de pahar, cutie, etc.).

Ca urmare a diferențelor de presiune, care iau naștere pe suprafața poansonului în timpul procesului de umplere, acesta se încovoaie provocând excentricități în piesa injectată.

Studiul dimensionării și deformării poansoanelor se face considerând trei tipuri principale de poansoane (*fig.6.262*). Pentru fiecare din aceste tipuri de poansoane există trei tipuri de solicitare în funcție de modalitățile de injectare (*fig.6.263*).

Studiul dimensionării și deformării poansoanelor se face luând în considerare următoarele ipoteze simplificatoare:

- se face abstracție de înclinația conică a poansoanelor introducându-se dimensiuni medii (*fig.6.264*);
- masa proprie a poansoanelor nu se ia în considerare;
- fixarea poansoanelor se consideră rigidă;
- în cazul poansoanelor cu găuri de răcire acestea se consideră perforate. Nu se ia în considerare efectul de consolidare a fundului neperforat;
- nu se ia în considerare efectul de amplificare al presiunii în zona lărgită a cuibului dinspre partea injectată ca urmare a încovoierii poansonului.

Dimensionarea poansonului. Pentru calculul de dimensionare se va ține seama de tipurile de încărcare prezentate în *fig.6.263*. Dimensionarea se face considerând poansonul ca o bară solicitată la încovoiere. Pentru calcul se utilizează relația

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (6.164)$$

unde:

- σ - efort unitar de încovoiere;
- M - moment de încovoiere;
- W - modulul de rezistență la încovoiere.

Formula poate fi scrisă sub următoarele forme:

- formulă de dimensionare

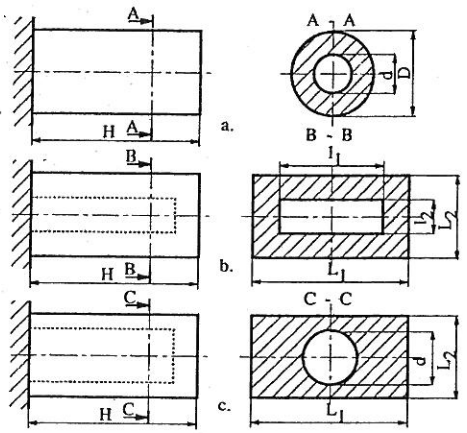


Fig.6.262. Principalele tipuri de poansoane întâlnite la matrițele de injectat; a, b, c - forme constructive.

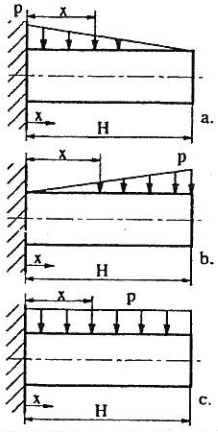


Fig.6.263. Principalele tipuri de încărcare ale unui poanson: a - injectare laterală la baza poansonului; b - injectare laterală la capătul poansonului; c - injectare centrală în capătul poansonului.

$$W_{nec} = \frac{M}{\sigma_a}, \quad (6.165)$$

unde:

- σ_a - efort unitar adimisibil;
- W_{nec} - modulul de rezistență necesar.

- formulă de verificare

$$\sigma_{ef} = \frac{M}{W_{ef}} \leq \sigma_a, \quad (6.166)$$

unde:

- σ_{ef} - efort unitar efectiv;
- W_{ef} - modulul de rezistență efectiv.

Pentru secțiuni circulare, inelare, dreptunghiulare pline sau cu orificii, modulul de rezistență se calculează cu relațiile prezentate în *tab.5.31.* pentru piesele injectate.

Momentele de încovoiere se determină în funcție de tipul de încărcare al barei:

- bara încastrată la un capăt, încărcată cu sarcină distribuită triunghiular conform *fig.6.263.a.* Ecuația momentului încovoietor într-o secțiune x este

$$M_x = -\frac{px^3}{6H}, \quad (6.167)$$

unde:

- p - sarcina distribuită liniar.

La $x = H$ momentul încovoietor maxim este (în valoare absolută)

$$M_{max} = \frac{pH^2}{6}. \quad (6.168)$$

- bara încastrată la un capăt încărcată cu sarcină distribuită triunghiular conform *fig.6.263.b.* Ecuația momentului într-o secțiune x este

$$M_x = -\frac{px^3}{6H} + \frac{pHx}{2} + \frac{pH^2}{3}. \quad (6.169)$$

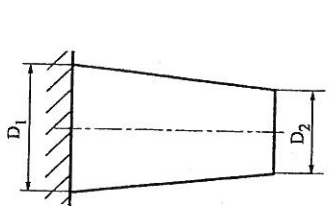


Fig.6.264. Poanson cu pereți înclinați: D - diametru mediu $D=(D_1+D_2)/2$.

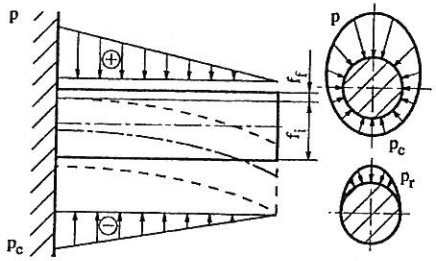


Fig.6.265. Deformarea totală a unui poanson cilindric: f_i - săgeata datorită încovoierii; f_f - săgeata datorită sarcinii transversale; p_i - presiunea de injectare; p - contrapresiune; p_r - presiunea rămasă.

La $x = H$ momentul încovoietor maxim este (în valoare absolută)

$$M_{max} = \frac{2pH^2}{3}. \tag{6.170}$$

- bara încastrată la un capăt încărcată cu sarcină uniform distribuită conform *fig.6.263.c*. Ecuația momentului într-o secțiune x este

$$M = -\frac{px^2}{2} + pHx - \frac{pH^2}{2}. \tag{6.171}$$

La $x = H$ momentul încovoietor maxim este (în valoare absolută)

$$M_{max} = \frac{pH^2}{2}. \tag{6.172}$$

Deformarea poansonului. La calculul deformării maxime a unui poanson aflat în consolă se pornește de la faptul că deformarea totală se compune din deformarea datorată solicitării la încovoiere și deformarea datorată sarcinilor transversale, considerând poansonul o placă

$$f = f_i + f_f, \tag{6.173}$$

unde:

- f_i - deformația datorată solicitării la încovoiere;
- f_f - deformația datorată solicitării forțelor transversale.

Deformarea totală a unui poanson se calculează cu relația generală

$$f_t = k_1 k_2 f, \tag{6.174}$$

unde:

- k_1, k_2 - factori de calcul;
- f - deformația calculată conform relației (6.173).

Factorul k_1 ia în considerare efectele presiunii materialului plastic din jurul poansoanelor ca urmare a apariției contrapresiunii care se opune deformării poansonului. Acest factor este o măsură a raportului dintre presiunea efectivă și pierderea de presiune considerată

$$k_1 = \frac{p_{ef}}{p_c}, \tag{6.175}$$

unde:

- p_{ef} - presiunea efectivă, adică presiunea rămasă ca urmare a existenței contrapresiunii pe partea opusă poansonului;
- p_c - contrapresiunea de pe fața opusă poansonului.

Pentru poansoane cilindrice, factorul k_1 se calculează cu relația [21]

$$k_1 = 0{,}864 \sin 2{,}1\frac{D}{H}, \tag{6.176}$$

unde: (*fig.6.262.a*)

- D - diametrul exterior al poansonului;
- H - lungimea poansonului.

Pentru poansoane scurte și foarte groase ($D/H > 1$) relația (6.176) nu este aplicabilă. Pentru poansoane cu secțiune dreptunghiulară (*fig.6.262.b*) se folosește relația [21]

$$k_1 = a_1 + a_2[121 - 22\frac{L_1}{L_2} - (\frac{L_1}{L_2})^2], \tag{6.177}$$

unde:

- L_1 - lățimea poansonului;
- L_2 - înălțimea poansonului.

Factorii a_1 și a_2 se calculează cu relațiile

$$a_1 = 0{,}2873\frac{L_c}{H} - 0{,}0407; \tag{6.178}$$

$$a_2 = 1{,}2923\cdot10^{-3}\frac{L_c}{H} - 256543\cdot10^{-4}, \tag{6.179}$$

unde:

- L_c - perimetrul secțiunii poansonului;
- H - înălțimea poansonului.

Perimetrul secțiunii poansonului se calculează cu relația

$$L_c = 2(L_1 + L_2). \tag{6.180}$$

Factorul k_2 ia în considerare presiunea necesară la umplerea matriței. Presiunea de injectare necesară pentru umplerea unei matrițe într-un canal dreptunghiular respectă, în aceleași condiții de injectare (viteza frontului de curgere, material, temperatură), relația

$$p \approx \frac{1}{s^2}, \tag{6.181}$$

unde:

- s - grosimea peretelui reperului.

Ca urmare, în funcție de grosimea de perete a reperului rezultă solicitări diferențiate prin presiunea din timpul injectării (*fig.6.265*). Acestea se iau în considerare cu ajutorul factorului k_2 care se calculează cu expresia

$$k_2 = \frac{p}{p_c}, \tag{6.182}$$

unde:

- p - presiunea reală necesară umplerii matriței;
- p_c - contrapresiunea de pe fața opusă poansonului.

Factorul k_2 se calculează cu relația

$$k_2 = \frac{56{,}9 + 39{,}1(1 - \frac{S}{L})\eta_a \dot{V} H}{8Ls^3}, \tag{6.183}$$

unde:

- s - grosimea de perete a piesei injectate;
- η_a - vâscozitatea aparentă;
- $\dot{V}$ - debitul de material;
- L - lățimea de curgere a canalului.

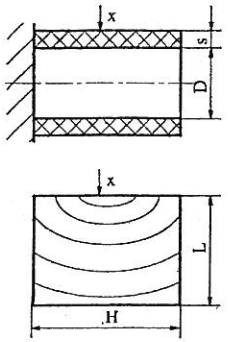


Fig.6.266. Calculul înălțimii de curgere la un poanson cilindric.

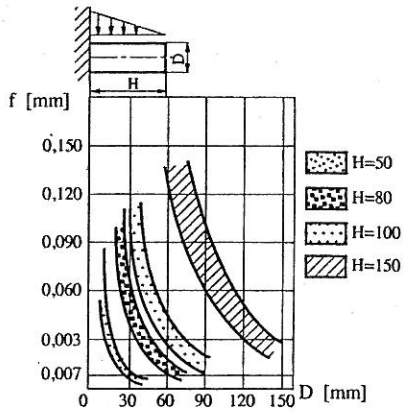


Fig.6.267. Deformarea unui poanson cilindric: material polistiren, PS-143E; temperatura materialului T = 236°C; debitul de curgere $\dot{V}$=50 cm^3/s; grosimea de perete s = 1...2 mm; temperatura matriței T_m = 40°C.

Pentru calculul lățimii de curgere L se folosesc expresiile (*fig.6.266*):

- pentru poansoane rotunde

$$L = \pi(D + s); \tag{6.184}$$

- pentru poansoane cu secțiunea dreptunghiulară

$$L = 2(L_1 + L_2 + 2s). \tag{6.185}$$

Deformarea totală f_t a unui poanson cu secțiune circulară se calculează cu relația (6.174) cunoscând valorile lui k_1, k_2 și f. Pentru f se determină în lucrarea [21] expresia

$$f = \frac{p_c HD}{E(D-d)}\left[\frac{32H^2}{15\pi(D^2+d^2)} + C_1\frac{10,4}{3\pi}\right], \tag{6.186}$$

unde:

- p_c - contrapresiunea pe fața opusă poansonului;
- E - modulul de elasticitate longitudinal al materialului poansonului.

Factorul C_1 poate avea următoarele expresii:

- pentru $2 \le D \le 10$

$$C_1 = \frac{2D(D-d)+44}{14,4}; \tag{6.187}$$

- pentru $D > 10$

$$C_1 = 1. \tag{6.188}$$

F_p se definește ca raport al grosimii peretelui poansonului și se calculează cu expresia

$$F_p = \frac{D}{\frac{D-D_i}{2}}. \tag{6.189}$$

Dacă calculele de natură teoretică sunt cuprinse în diagrame există posibilitatea să se determine ușor încovoierea totală în funcție de diametrul exterior al poansonului pentru diferite lungimi ale poansonului și grosimii de perete ale reperului injectat (*fig.6.267...6.269*).

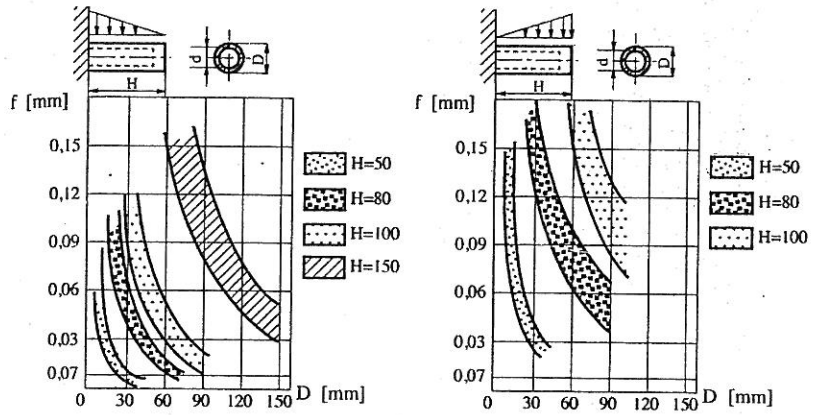


Fig.6.268. Deformarea totală a unui poanson cilindric cu secțiune inelară (d = 3/5D): material polistiren, PS-143E; temperatura materialului T = 236°C; debitul de curgere $\dot{V}$ = 50 cm^3/s; grosimea de perete s = 1...2 mm; temperatura matriței T_m = 40°C; a, b - modalități de încărcare a poansonului.

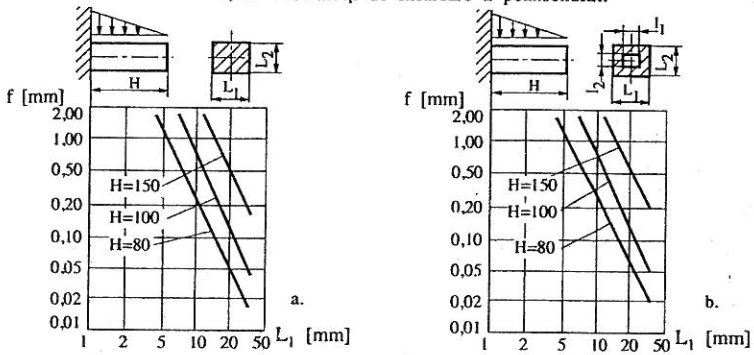


Fig.6.269. Deformarea totală a unui poanson cu secțiune dreptunghiulară: material polistiren, PS-143E; temperatura materialului T = 236°C; debitul de curgere $\dot{V}$ = 50 cm^3/s; grosimea de perete s = 2 mm; temperatura matriței T_m = 60°C; L_1 - are valoarea constantă; L_1 = 40; $l_2 = 3/5l_1$; a - secțiune plină; b - cu gaură dreptunghiulară.

Deformarea poansonului cu luarea în considerare a fixării poansonului. Dacă la calculul deformării totale a poansonului se ține seama de fixarea poansonului în placa de fixare a matriței, săgeata totală f_T se poate scrie (*fig.6.270*)

$$f_T = f_t + f_{fp}, \tag{6.190}$$

unde:

- f_t - săgeata totală a poansonului în cazul în care nu se ia în considerare fixarea poansonului;
- f_{fp} - săgeata totală a poansonului în urma luării în considerare a fixării poansonului.

Săgeata f_{fp} se calculează conform *fig.6.274* cu relația

$$f_{fp} = f_1 + f_2, \tag{6.191}$$

unde:

- f_1 - deplasarea poansonului în gaura de fixare datorită forţelor transversale;
- f_2 - săgeata poansonului datorită solicitării la încovoiere.

Pentru un poanson cilindric se pot calcula săgeţile f_1 şi f_2 cu expresiile (*fig.6.271*)

$$f_1 = \frac{p_1 L}{E}; \tag{6.192}$$

$$f_2 = \frac{p_2 L(2H + H_1)}{EH_1}; \tag{6.193}$$

unde:

- p_1 - presiunea de contact datorată forţelor transversale;
- p_2 - presiunea de contact datorată momentului de încovoiere;
- E - modulul de elasticitate longitudinală al materialului poasnonului;
- L - înălţimea de fixare a poansonului;
- H_1 - lungimea fixării;
- H - înălţimea poansonului.

O înălţime de fixare $L > 3D$ nu mai influenţează notabil săgeata poansonului. Presiunile p_1 şi p_2 se determină cu relaţiile

$$p_1 = \frac{p_{ef} H}{6DH_1}(3D - 2Htg\alpha); \tag{6.194}$$

$$p_2 = \frac{p_{ef} H(2x + H_1)}{2DH_1}(3D - 2Htg\alpha), \tag{6.195}$$

unde:

- α - unghiul de înclinare al poansonului;
- x - distanţa de la baza poansonului până la punctul de aplicaţie al forţei rezultante echivalentă ca urmare a distribuirii presiunii pe poanson ($x = 1/3H$);
- p_{ef} - presiunea efectivă.

Presiunea efectivă se calculează cu relaţia

$$p_{ef} = k_1 p, \tag{6.196}$$

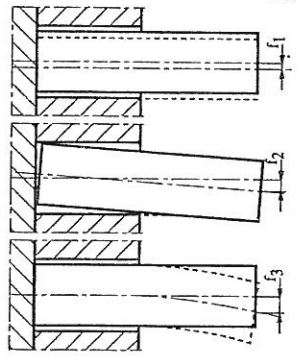


Fig.6.270. Săgeata totală a unui poanson la luarea în considerare a fixării poansonului: f_1 - săgeata datorată sarcinilor transversale; f_2 - săgeata datorată momentului încovoietor; f_t - săgeata totală fără luarea în considerare a fixării poansonului.

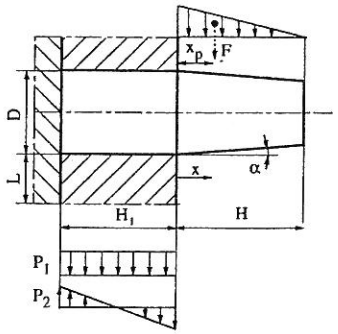


Fig.6.271. Solicitări la un poanson la care se ia în considerare fixarea: p_1 - presiune datorată sarcinilor transversale; p_2 - presiune datorată momentului încovoietor.

unde:

- k_1 - coeficient;
- p - presiune de umplere.

Relaţiile pentru f_1 şi f_2 sunt valabile şi pentru poansoane cu secţiunea dreptunghiulară, înlocuind diametrul D cu lăţimea L_1 (*fig.6.272*).

De mare utilitate pentru determinarea săgeţii totale în cazul luării în considerare a fixării poansonului sunt diagramele (*fig.6.273*).

6.14.10. Concepţia generală a matriţei

Este foarte folositor ca la proiectoarea unei matriţe de injectat să se respecte o anumită ordine în determinarea elementelor geometrice, de funcţionare, etc., astfel încât să se ia în considerare toţi factorii determinanţi în buna funcţionare a matriţei.

În lucrarea [21] se oferă un algoritm de calcul la proiectarea unei matriţe de injectat (*fig.6.242*).

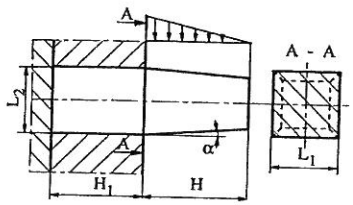


Fig.6.272. Poanson cu secţiune dreptunghiulară.

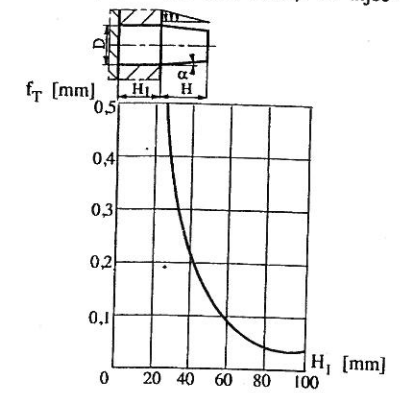


Fig.6.273. Diagramă pentru determinarea săgeţii totale la poansoanele la care se ia în considerare fixarea: p_{ef} = 15 MPa; H = 80 mm; D = 70 mm; H_1 = 80 mm; $\alpha = 0°$.

BIBLIOGRAFIE

1. *Ionescu Muscel, Ianculescu, M., Sereş, I., Vass, I., Rosenthal, I., Biro, A.* Proiectarea matriţelor pentru produse injectate din materiale plastice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1987.

2. *Mink, W.* Grundzüge der Spritzgiesstechnik. Zechner und Hüthing Verlag, Speyer am Rhein, 1979.

3. *Gastrow, H.* Der Spritzgiess-Werkzeugbau in 100 Beispilen, 3., Auflage. Carl Hanser Verlag, München Wien, 1982.

4. *Beck, H.* Spritzgiessen, 2., erweiterte Auflage Carl Hanser Verlag, München, 1963.

5. *Bauer, W.* Der Formfüllvorgang bei Spritzguss von Thermoplasten. Kunststoffe, nr. 4, 1963.
6. *Menges, G., Ries, H., Wiegman, T.* Innere Eigenschaften von Spritzgegossenen Formteiten aus Polypropylen. Kunststoffe, nr. 4, 1987.
7. *Hille, L.* Probleme der Anguss-und Anschnitt-Technik bei Spritzussteilen aus CA- und CAB-Massen. Plastverarbeiter, nr. 1, 1961.
8. *Rothe, I.* Der Formfüllvorgang bei Spritzgiessen. Kunststoffe, nr. 3, 1972.
9. *Naetsch, H., Nicolaus, W.* Die Fliessfähigkeit von Thermoplasten bein Spritzgiessen. Plastverarbeiter, nr. 4, 1980.
10. *Bangert, H.* Vorausbestimmen des Fliessfront verlaufs in Spritzgiesswerkzeugen. Anwendung der Füllbildmethode bei Komplexeren Formteilen. Kunststoffe, nr. 12, 1985.
11. *Jung, P., Patzschke, H.* Spritzgiessen von Thermoplasten. Kennlinienfelder und ihre Nutzung. VEB Deutsher Verlag für Grundstoffundustrie, Leipzig, 1988.
12. *Tudose, Z., R.* Procese și utilaje în industria de prelucrare a compușilor macromoleculari. București, Editura Tehnică, 1976.
13. *Jinescu, V., V.* Proprietățile fizice și termomecanica materialelor plastice. București, Editura Tehnică, 1979.
14. *** Werkstoff-Anforderungen. Konstruction und Fertigung electrischer Haushaltsgeräte. Teil 1. Broșura firmei Bayer, 1982.
15. *** Ultraform. Sortiment, Eigenschaften, Verarbeitung. Broșura firmei BASF, 1988.
16. *** Polystyrol. Sortiment, Eigenschaften, Verarbeitung. Broșura firmei BASF, 1987.
17. *Mourgue, M.* Les presses a mouler les matieres plastique. L'officiel des plastiques et du caoutchouc, nr. 8, 1969.
18. *** Inedit: les regles de construction d'un moule. Plastiques Modernees et Elastomeres, avril, 1979.
19. *Menges, G., Mohren, P.* Anleitung für den Bau von Spritzgiesswerkzeugen. Carl Hanser Verlag, München, 1974.
20. *Sors, L., Bardocz, L., Radnoti, I.* Münyagalakitó Szerszámok. Müszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
21. *Menges, G., Mohren, P.* How to make injection molds. Carl Hanser Verlag, Munich, Vienna, New York 1986.
22. *Gastrow, H.* Bemessung und Gestaltung von kanälen und Anschnitten bei Spritzgussformen. Kunststoffe, nr. 5, 1952.
23. *** Lexan, Noryl, Valox. A guide to succesful injection moulding. Broșura firmei General Electric Plastics Europe.
24. *Sors, L.* Rheologische Dimensionierung der Angusskanäle und Anschnitte von Spritzgiesswekzeugen. Kunststoffe, nr. 10, 1975.
25. *** Technische Kunststoffe, Berechnen. Gestalten. Anwenden. Heisskanalsystem, Indirekt beheizter Wärmeleittorpedo. Broșura firmei Hoechst, mai, 1981.
26. *Popa, B., Vintilă, C.* Termotehnică și mașini termice. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978.
27. *Ștefănescu, D., Marinescu, M., Dănescu, A.* Transferul de căldură în tehnică, vol. 1. Conducție, convecție, radiație, schimb global. Editura Tehnică, București, 1982.
28. *Goldbach, H.* Heisskanal-Werkzeuge für die Verarbeitung „technischer" Thermoplaste (wie ABS, PA, PBT, PC). Plastverarbeiter, nr. 11, 1978; nr. 9, 1979.
29. *Hartmann, W.* Einflüsse auf die Funktion und die Wiertschaftlicheit eines Heisskanalsystems. Plastverarbeiter, nr. 11, 1973; nr. 1, 1974.

30. *Dittes, A.* Heisskanalsystem mit termischen Öffnen und Schliessen des Angusses. Plastverarbeiter, nr. 1, 1981.
31. *Hartman, W.* Systeme des angusslosen Spritzgiessens-Enrcheidungshilfen zur Auswahl des geeigneten Systems. Plastverarbeiter, nr. 4, 1982.
32. *Ritto, M., Grande, M.* Auslegen und Konstruieren von Heisskanalwerkzeugen. Kunststoffe, nr. 7, 1986.
33. *Löhl, R.* Universelle Einsatzmöglichkeiten eines standardisierten Heisskanalsystems. Kunststoffe, nr. 12, 1985.
34. *Unger, P.* Heisskanalsystem mit Indirekt beheiztem Wärmeleittorpedo. Kunststoffe, nr. 11, 1980.
35. *Hörburger, A.* Düsenbaurten für Heisskanal Werkzeuge. Kunststoffe, nr. 7, 1972.
36. *Schauf, D.* Angussloses Spritzgiessen mit Heisskanalsystemen. Kunststoffe, nr. 11, 1979.
37. *Urban, R.* Entwicklung des angusslosen Spritzgiessens von thermoplastschen Kunsstoffen. Kunststoffe, nr. 6, 1981.
38. *Sereș, I.* Determinarea timpului de răcire în matriță la formarea prin injecție a termoplastelor. Materiale plastice, nr. 4, 1985.
39. *Seyfarth, P.* Zur Bestimmung der Zykluszeit bein Spritzgiessen anorpher Thermoplaste. Plaste und Kautschuk, nr. 1, 1969; nr. 2, 1969.
40. *Gebel, J., Künisch, H.* Zum problem der Brerechnung und Gestaltang der Kühlsystems bei Spritzgiesswerkzeugen für die Thermoplastverarbeitung. Plaste und Kautschuk, nr. 8, 1968.
41. *Catic, I.* Wärmeaustausch eines Spritzgiesswerkzeugs mit der Umgebung. Kunststoffe, nr. 5, 1974.
42. *Thienel, P., Kemper, W., Schmidt, L.* Praktische Anwendungbeispiele für die Benutzung von p-V-T Diagrammen. Plastverarbeiter, nr. 1, 1979.
43. *Menges, G.* Erkenntnisse für den normalen Bitrieb aus Untersuchungen zur Prozesssteurung. Plastverarbeiter, nr. 5, 1974.
44. *Hartig, G.* Flüssigkeitemperierung in der Kunststoffindustrie. Plastverarbeiter, nr. 7, 1974; nr. 8, 1974.
45. *Friel, P.* Werkzeugtemperierung. Kunststoffe, nr. 12, 1985.
46. *Prasad, A., Groth, K., B.* Optimalere Produktion durch Analyse der Werkzeugkühlung und der Werkzeugkonstruktion. Plastverarbeiter, nr. 4, 1979.
47. *Catic, I., Ranogajec, I., Simon, D.* Werkzeugtemperierung als drifte Funktion der Spritzgiessmaschine. Plaste und Kautschuk, nr. 2, 1982.
48. *Gorbach, P.* Temperaturregelung mittels flüssiger Medien am Beispiel von Spritzgiesswerkzeugen. Plaste und Kautschuk, nr. 2, 1982.
49. *Haak, U., Riecke, J.* Verstärktes und gefülltes Polypropylen-Eigenschaften, Anforderüngen und Problemlösungen in der Elektrogerätindustrie. Plastverarbeiter, nr. 8, 1982; nr. 12, 1982.
50. *** Conception des pieces en polyamide Technyl. Broșura firmei Rhöne-Poulenc Specialites Chimiques, novembre, 1983.
51. *Gemmer, H., Hörburger, A., Geyer, H.* Anlage der Werkzeugtemperierung und Einfluss auf die Eigenschaften von Spritzgussteilen. Industrie-Anzeiger, nr. 6, 1971; nr. 7, 1971.
52. *Gavrilaș, I., Marinescu, N., I.* Prelucrarea prinelectroeroziune și electrochimic abrazivă. Editura Tehnică, București, 1980.
53. *** Fröccsöntö szerszámok hütésének méretezése. Münyag és Gumi, januar, 1984.
54. *** Strack Norma. Normă de tipizare a firmei Strack, 1980.

55. *** Normalien für Formwerkzeuge. Normă de tipizare a firmei Danuvia, 1981.
56. *Voicu, M., Szell, P., Amza, Gh., Gladcov, P., Drimer, D., Alexandrescu, V., Iova, R.* Studiul și tehnologia metalelor. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1975.
57. *Oancea, E.* Oțeluri și tratamente termice recomandate în construcția matrițelor pentru prelucrarea materialelor plastice. Materiale Plastice, nr. 5, 1971.
58. *** BASF Kunststoffe Spritzgiessen Werkzeug. Werkstoffe für den Formenbau, August, 1969.
59. *Menges, G., Horn, B.* Eigenschaften von Werkstoffen für Werkzeugbau. Kunststoffberater, nr. 8, 1975.
60. *Stoeckhert, K.* Werzeugbau für die Kunstsoffverarbeitung. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1979.
61. *Nanu, A.* Manualul inginerului mecanic. Tehnologia construcțiilor de mașini. Editura Tehnică, București, 1972.
62. *Mascaș, A., Dalacu, H.* Tehnica galvanoplastică. Editura Tehnică, 1974.
63. *Atanasiu, A.* Mecanica tehnică. Editura Tehnică, București, 1969.
64. *Buzdugan, Gh.* Rezistența materialelor. Editura Tehnică, București, 1970.
65. *Tudose, I., Constantinescu, D., M., Stoica, M.* Rezistența materialelor. Aplicații. Editura Tehnică, București, 1990.
66. *Buzdugan, Gh., Betes, A., Mitescu, C., Voinea, R., Petre, A., Blumenfeld, M., Constantinescu, I., Cosac, V., Voicu, C.* Culegere de probleme de rezistența materialelor. Editura Tehnică, București, 1979.
67. *Nădășan, Șt., Kovacs, L., Dobre, I., Nicola, P.* Probleme de rezistența materialelor. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1968.
68. *Krezschmar, O., Müller, U.* Mechanische Auslegung von Spritzgiesswerkzeugen mit analytischen Berechnungsmethoden. Kunststoffe, nr. 12, 1984.
69. *Geyer, H.* Beitrag zur Schwindungsberechnung von spritzgegossenen Formteilen. Kunststoffe, nr. 1, 1975.
70. *Pașca, H., Anghel, Al., Manea, C., Hotea, Gh.* Rezistența materialelor. Probleme. Editura Științifică Și Enciclopedică, București, 1986.
71. *Ponomariov, S., D., Biderman, V., L., Liharev, K., K., Macusin, V., M., Malinin, N., Foedosiev, V., I.* Calculul de rezistență în construcția de mașini, vol. II, Editura Tehnică, București, 1963.

7. Automatizarea procesului de injectare

7.1. Concepte de bază ale automatizării

7.1.1. Sistem automat

Conceptul de sistem automat folosit în diferite domenii ale tehnicii se utilizează și în domeniul injectării materialelor termoplastice.

Sistemul automat se definește ca un ansamblu cuprinzând procesul și dispozitivul de automatizare [1]. Fiecare sistem automat poate prezenta un grad sau altul de complexitate apreciat după diverse criterii de structură: funcțiuni, program, număr de variabile, dimensiuni, etc. În general, sistemele automate conduc procese cu evoluție mai lentă sau mai rapidă în timp și deci sunt sisteme dinamice.

După modul în care sunt legate între ele, dispozitivul de automatizare și instalația automatizată, și deci, după modul lor de influențare reciprocă, sistemele automate pot fi împărțite în următoarele clase: sisteme în circuit deschis și sisteme în circuit închis.

Sistemele automate în circuit deschis se caracterizează prin aceea că dispozitivul de automatizare acționează asupra instalației automatizate, determinându-i starea. Instalația automatizată însă nu influențează dispozitivul de automatizare. Schema bloc simplificată a acestor sisteme este reprezentată în *fig.7.1.a.*

Sistemele automate în circuit închis sunt acele sisteme în care mărimea supusă conducerii dispozitivului de automatizare influențează, la rândul ei, dispozitivul de automatizare în scopul declanșării unor acțiuni ale acestuia sau în scopul corectării valorii ei, atunci când aceasta din urmă se modifică sub influența factorilor perturbatori care acționează asupra instalației automatizate. Schema bloc a sistemelor automate cu circuit închis este prezentată în *fig.7.1.b.*

Sistemele de reglare multiple cu mai multe intrări și mai multe ieșiri sunt cele

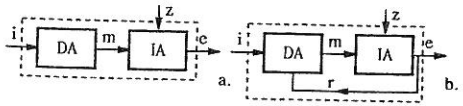


Fig.7.1. Sisteme automate:
a - sisteme automate în circuit deschis;
b - sisteme automate în circuit închis;
DA - dispozitiv de automatizare; IA - instalație de automatizare; i - mărime de intrare;
e - mărime de ieșire; m - mărime de execuție;
z - mărime perturbatoare; r - mărime de reacție.

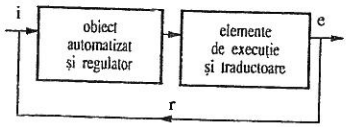


Fig.7.2. Schema structurală a unui sistem de reglare multiplu liniar:
i - mărime de intrare; e - mărime de ieșire; r - mărime de reacție.

mai des întâlnite în practica automatizării proceselor industriale [2]. În acest caz problemele sunt mai complexe, în esență datorită interdependenței mărimilor de intrare, ieșire și reacție.

În forma cea mai simplă, schema unui astfel de sistem de reglare multiplu, liniar, arată ca în *fig.7.2.*

7.1.2. Sisteme de comandă și reglare

Dezvoltarea comenzii și reglării proceselor în industrie a fost posibilă ca urmare a dezvoltării electronicii.

Dezvoltarea electronicii, de regulă, se caracterizează prin generații:

- prima generație se bazează pe tuburi electronice;
- a doua generație pe transzistoare;
- a treia generație pe circuite integrate.

Circuitele integrate, care stau la baza generației actuale a electronicii, din punct de vedere al destinației se împart în [3]:

- *circuite integrate analogice*, care prelucrează semnale continue în amplitudine sau frecvență și realizează funcții analogice (amplificare, generare, modulare, demodulare);
- *circuite integrate digitale* (numerice) care realizează funcții logice de calcul aritmetic pe bază de cod și (sau) memorare. Ele prelucrează semnale discontinue ca valoare, sub formă de nivele sau impulsuri. În electronica digitală parametrii au o valoare aritmorfică, adică pot lua valori discrete. Aceste valori discrete se reduc pentru majoritatea circuitelor actuale la două nivele considerate prin convenție 1 (unu logic) și 0 (zero logic). În exprimarea curentă, referirea la „unu logic" sau „zero logic" se face prin cuvântul *bit.*
- *circuite integrate de interfață*, care prelucrează semnale analogice și numerice, conținând de regulă și un sistem de conversie analog - numeric (A-N) sau numeric - analog (N-A), făcând legătura între echipamentele analogice și cele numerice.

Ținând seama de complexitatea circuitelor integrate se disting următoarele trepte de integrare:

- *SSI* (Small Scale Integration), corespunzător circuitelor integrate cu grad redus de integrare;
- *MSI* (Medium Scale Integration), pentru circuite integrate cu grad mediu de integrare;
- *LSI* (Large Scale Integration), caracterizează circuitele larg integrate;
- *VLSI* (Very Large Scale Integration), corespunzător circuitelor foarte larg integrate.

Microprocesorul reprezintă un circuit integrat pe scară largă (*LSI*), care poate realiza operații aritmetice, logice și de transfer, sub controlul unui program [4]. Pentru a forma un sistem de calcul complet, microprocesorul trebuie utilizat în combinație cu alte circuite suport, incluzând și memorii. S-au dezvoltat astfel două clase de sisteme cu microprocesor [5]:

- microcalculatoare;
- sisteme de control cu microprocesor.

Circuitele cu memorie, privite ca structuri care pot implementa funcții logice, se încadrează îm clasa circuitelor integrate combinaționale. Din punct de vedere al utilizării ca elemente componente al unui sistem cu microprocesor, circuitele de memorie sunt de tip *ROM* și *RAM* [6].

Memoriile semiconductoare numai de citire ROM (Read Only Memory) sunt folosite pentru citirea informației (înscrisă anterior), informație ce este rezidentă permanent în cadrul sistemului. Pentru realizarea rezidenței permanente, memoria *ROM* trebuie să fie de tip nevolatil, adică la pierderea tensiunii informația nu se distruge.

La *memoriile cu acces aleatoriu RAM* (Random Acces Memory) accesul la oricare cuvânt al memoriei este realizabil în același interval de timp. Aceasta este o memorie de tip volatil, deoarece la pierderea tensiunii informația se distruge.

Circuitele de memorie PROM pot fi programate și șterse de către programator. În funcție de modalitatea de ștergere a informației ele pot fi *EPROM* (ștergere la expunere de raze ultraviolete sau X) sau *EEPROM* (ștergere pe cale electrică).

În general un microprocesor execută secvențial un șir de instrucțiuni, dar este prevăzut și cu circuite de intrare-ieșire seriale și (sau) paralele, accesibile utilizatorului, cu memorii *ROM*, eventual programabile *PROM*, în care utilizatorul își poate depozita programul, cu memorii *RAM* pentru depozitarea temporară a programelor sau datelor și cu circuite de generare a semnalului de tact [5].

Schema bloc a unui microcalculator este reprezentată în *fig.7.3.* Dintre elementele sistemului prezentat în *fig.7.3*, microprocesorul este componenta cea mai complexă și ale cărei caracteristici determină în esență structura și performanțele microsistemului.

Informația în interiorul microsistemului este vehiculată prin intermediul *magistralelor.* Schimbul de date dintre microprocesor și memorie, respectiv între microprocesor și interfață, se realizează prin intermediul magistralei de date, întotdeauna bidirecțională. Pentru transmiterea biților de adresă de la microprocesor spre circuitele de memorie se utilizează magistrala unidirecțională, cea de adrese. Cel de-al treilea tip de magistrală, de control, servește la vehicularea semnalelor de sincronizare și control între microprocesor și celelate elemente din microsistem.

Realizarea dialogului unui microsistem cu echipamente periferice se realizează cu ajutorul *circuitelor de interfață.* Una dintre posibilitățile de executare a unui transfer de date constă în includerea în program a secvenței de instrucțiuni care asigură efectuarea operației de intrare-ieșire (I/0) dorite.

Pentru micrositemele de calcul se elaborează limbaje în care instrucțiunile sunt exprimate sub formă simbolică, denumite *limbaje de programare.*

Prin *comandă numerică CN* a mașinii de injectat se înțelege instalația de prelucrare numerică a datelor capabile să transmită mașinii toate comenzile necesare în procesul injectării pe baza unui program stabilit prealabil. Structura unui sistem automat destinat conducerii unei mașini de injectat este prezentat în *fig.7.4.*

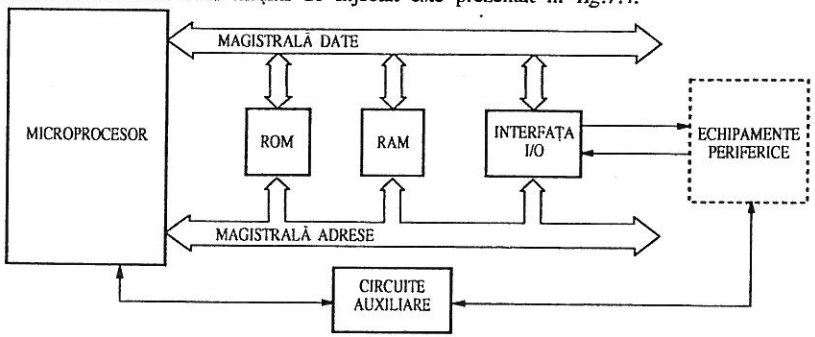


Fig.7.3. Schema bloc a unui microcalculator.

Din punct de vedere al sistemului, elementele menționate au următoarele funcțiuni:

- *Mi* este mașina de injectat în care se desfășoară procesul condus căruia trebuie să i se asigure o anumită evoluție în timp;
- *M* sunt elementele ce furnizează măsuri (informații) despre valorile concrete ale parametrilor (mărimilor) ce caracterizează starea procesului condus;
- *CN* este echipamentul care primește date (informații) de intrare prin care se precizează evoluția dorită și informații despre starea reală a procesului, prelucrează și emite comenzile necesare pemtru asigurarea evoluției dorite;
- *E* sunt elementele care realizează aplicarea comenzilor la mașina de injectat. Se poate remarca ușor că structura sistemului prezentat este aceea a unui sistem automat de reglare.

Caracteristic sistemelor de conducere numerică este faptul că informațiile (*i, r, c*) sunt reprezentate sub formă numerică (reprezentare codificată sau eventual tren de impulsuri). Mărimile de execuție *m* și de ieșire *e* sunt, în general, mărimi analogice. Circuitele care asigură conversia analog - numerică se consideră că fac parte din *M*, respectiv *E*.

Informațiile de lucru sunt informații tehnologice și se înscriu de programator pe un suport adecvat, într-un limbaj (formă de codificare) pe care echipamentul de comandă numerică *CN* poate să-l „citească" și să-l „înțeleagă". Se ajunge astfel la elaborarea programului corespunzător.

În cadrul conducerii unei singure mașini de injectat toate funcțiile echipamentului de comandă numerică pot fi preluate de către calculator. Un astfel de sistem de comandă este cunoscut sub denumirea de *CNC* (Computerized Numeric Control). Structura unui sistem *CNC* este prezentată în *fig.7.5*. Se observă că sistemul de calcul a înlocuit echipamentul de comandă numerică convențional. Funcțiile de comandă se realizează de calculator prin înlănțuirea adecvată a unor programe (logică programată) și nu prin blocuri specializate pe funcții care să funcționeze în paralel.

Avantajele sistemelor *CNC* rezultă din structura lor ușor modificată:

- flexibilitatea sporită față de sistemele numerice convenționale datorită logicii programate;
- modul de operare este mai sigur, programele fiind înmagazinate în memoria calculatorului;
- comanda adaptivă se poate aplica ușor.

7.2. Reglarea parametrilor procesului de injectare

În capitolul 2 s-au analizat fazele ciclului de injectare, iar în capitolul 5 s-au analizat caracteristicile calitative ale pieselor injectate în funcție de proprietățile materialului și parametrii de prelucrare.

Parametrii tehnologici și caracteristicile piesei injectate sunt în strânsă legătură, legătură ce este complicată și de faptul că parametrii tehnologici sunt interdependenți. Pentru a satisface cerințele ridicate de calitate ale piesei injectate s-au perfecționat sistemele specifice de reglare ale mașinii de injectat. Aceste sisteme pot regla diferiți parametri în mai multe trepte.

7.2.1. Reglarea temperaturii

Un sistem de reglare a temperaturii cuprinde, în general, un element sensibil (termometrul), un traductor, un amplificator al mărimii obținute care este comparată cu temperatura prestabilită în regulator, precum și un sistem de emitere a unui semnal de către regulator către dispozitivele de încălzire [10].

7.2.1.1. Termometre și regulatoare de temperatură

7.2.1.1.1. Termometre

Elementele sensibile la o mașină de injectat sunt: termometrele cu rezistență și termometrele cu termoelemente.

Termometre cu rezistență, numite și *termorezistențe*, se bazează pe dependența de temperatură a rezistenței unor metale pure (platină, nichel, cupru).

Termorezistențele industriale se utilizează penru măsurarea temperaturilor între -250°C...+850°C. Dezavantajul lor principal constă în necesitatea unei surse suplimentare de curent. Dacă în locul rezistenței metalice a termorezistenței se introduce un semiconductor se obțin așa numitele *termometre cu termistoare*. Acestea au în raport cu termometrele cu rezistență următoarele avantaje: sensibilitate mai mare, valoarea rezistenței mai mare, elementul sensibil are dimensiuni mai mici, etc.

Termometre cu termoelemente, sau *termocupluri*, sunt cele mai folosite elemente sensibile la sesizarea temperaturii mașinilor de injectat.

Termocuplurile sunt mai ieftine, mai robuste și reacționează mai rapid decât termorezistențele. Construcțiile uzuale, în funcție de materialul sârmelor termocuplului, se folosesc pentru măsurarea temperaturilor în intervalul -200°C...+600°C. Principiul de funcționare a termocuplului se bazează pe variația de temperatură a mediului de măsurare în variație de tensiunea termoelectromotoare, care apoi prin racordare la un termoregulator este tradusă în unități de temperatură.

În principiu, termocuplul se compune din doi termoelectrozi din metal sau aliaje diferite (Fe - Constantan, Cu - Constantan, Cu - Copel, etc.) sudați împreună la unul din capete. Încălzirea locală a sudurii (joncțiunea de măsurare) determină apariția unei tensiuni electromotoare la capetele libere ale termoelectrozilor (joncțiunea de referință) (*fig.7.6*). Valoarea acestei tensiuni depinde de diferența de temperatură existentă între joncțiunea de măsurare și cea de referință.

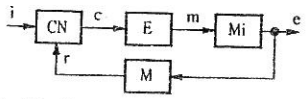


Fig.7.4. Sistem automat cu comandă numerică a unei mașini de injectat: CN - comandă numerică; E - elemente de execuție; Mi - mașină de injectat; M - elemente de măsurare; i - mărime de intrare; c - mărime de comandă; m - mărime de execuție; e - mărime de ieșire; r - mărime de corecție.

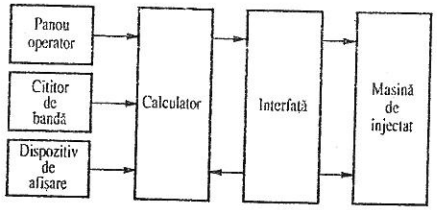


Fig.7.5. Strucura unui sistem CNC.

7.2.1.1.2. Regulatoare automate

Regulatorul automat ocupă locul central în ansamblul elementelor prevăzute pentru automatizarea procesului de injectare.

În cadrul sistemului de reglare automată (*fig.7.7*) *regulatorul automat RA* are rolul de a prelucra eroarea ε rezultată în urma comparării între elementul de comparație *EC*, mărimea de ieșire x_e sau a unei funcții de această mărime cu mărimea de intrare x_i. Dependența dorită dintre mărimile x_e și x_i este aigurată, în principal, prin intermediul dependenței realizate de *RA* între mărimea de comandă x_c (de la ieșirea *RA*) și eroarea ε. Mărimea x_c se aplică în continuare la intrarea elementului de execuție *EE* și determină variația corespunzătoare a mărimii de execuție x_m, care provoacă modificarea necesară în funcționarea mașinii de injectat *Mi*, în scopul asigurării dependenței prescrise între x_e și x_i. Variația mărimilor perturbatoare P_1, P_2 din diverse puncte ale mașinii de injectat provoacă modificarea mărimii x_e care este adusă la intrarea traductorului *Tr*, la al cărei ieșiri se află mărimea de reacție x_r, ce se compară în *EC* cu x_i, ș.a.m.d [10].

Trebuie remarcat faptul că, în cazul unei scheme simple ca cea din *fig.7.7*, nu pot fi evitate abateri temporare ale mărimii reglate x_e de la valoarea prescrisă prin mărimea x_i, întrucât sistemul intră în acțiune numai după ce efectul perturbărilor se manifestă prin modificarea valorii x_e, deci cu o anumită întârziere. Din acest motiv, pentru a asigura un grad mai ridicat de invarianță a mărimii x_e se utilizează sisteme de reglare automată cu structură mai complexă decât structura sistemului din *fig.7.7*.

7.2.1.2. Reglarea temperaturii unității de injectare

La o mașină de injectat se pune problema măsurării temperaturii cilindrului, a duzei, a materialului termoplastic în interiorul duzei de injectare precum și realizarea reglării temperaturii.

Principiul reglării temperaturii cilindrului de injectare, folosind un termoregulator, poate fi urmărit în *fig.7.8*. Termocuplul *1* produce semnalul electric x_i proporțional cu temperatura cilindrului. Prin compararea semnalului de bază x_b cu semnalul x_i în termoregulator se naște semnalul de comandă x_c. Prin intermediul semnalului de comandă x_c, termoregulatorul *1* comandă comutatorul magnetic *3*, care conectează prin semnalul x_n corpurile de încălzire *4*.

Dacă se prevăd regulatoare suplimentare, care să primească informații asupra valorilor

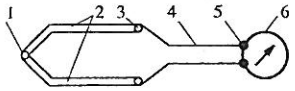


Fig.7.6. Principiu de funcționare a unui termocuplu:
1 - joncțiune caldă;
2 - termoelectrozi; 3 - joncțiune rece; 4 - conductoare de compensare; 5 - joncțiune rece;
6 - aparat pentru măsurarea tensiunii electromotoare.

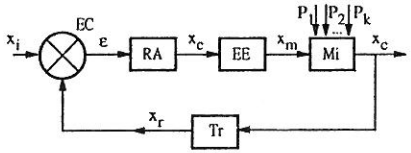


Fig.7.7. Sistem de reglare automată cu reglare după eroare:
EC - element de comparație; RA - regulator automat;
EE - element de execuție; Mi - mașină de injectat;
Tr - traductor de reacție; x_i - mărime de intrare;
x_c - mărime de comandă; x_m - mărime de execuție;
x_e - mărime de ieșire; x_r - mărime de reacție; ε - eroare.

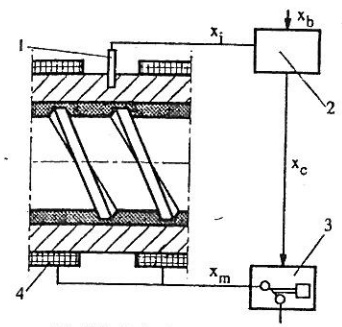


Fig.7.8. Principiul de reglare a temperaturii cilindrului de injectat prin termoregulator:
1 - termocuplu; 2 - termoregulator;
3 - comutator magnetic; 4 - corp de încălzire; x_i - mărime de intrare;
x_c - mărime de comandă; x_m - mărime de execuție; x_b - mărime de bază.

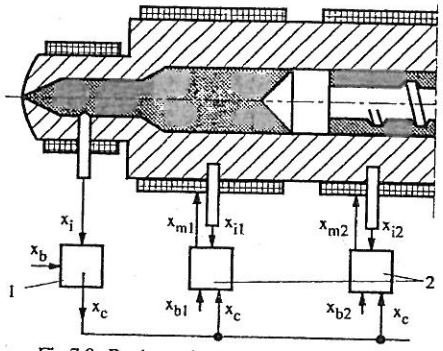


Fig.7.9. Reglarea în cascadă a temperaturii unității de injectare:
1 - termoregulator pentru topitură;
2 - termoregulatoare ale zonelor cilindrului;
x_i, x_{i1}, x_{i2} - mărimi de intrare; x_c - mărime de comandă; x_{m1}, x_{m2} - mărimi de execuție;
x_{b1}, x_{b2} - mărimi de bază.

perturbărilor și să transmită comenzi corespunzătoare, înainte ca perturbările să provoace modificarea mărimii de ieșire, se obține un *sistem de reglare combinată*.

Dacă în compoziția sistemului de reglare automată se prevăd regulatoare suplimentare care să primească informații asupra unor mărimi intermediare din interiorul instalației și să transmită comenzi de compensare a influenței perturbărilor, se obține *reglarea în cascadă*. Un astfel de exemplu este prezentat în *fig.7.9*. La acest sistem de reglare valoarea principală de reglare o reprezintă temperatura materialului termoplastic din duza mașinii, iar temperatura peretelui cilindrului reprezintă o valoare auxiliară de reglare.

Un sistem de reglare a temperaturii cu ajutorul regulatoarelor numerice de temperatură DDC (Direct Digital Control) poate fi urmărit în *fig.7.10*. Cu aceste regulatoare se pot obține valori foarte precise ale temperaturii. Semnalele de verificare emise de sesizoarele de temperatură nu sunt măsurate continuu ci la intervale de timp foarte

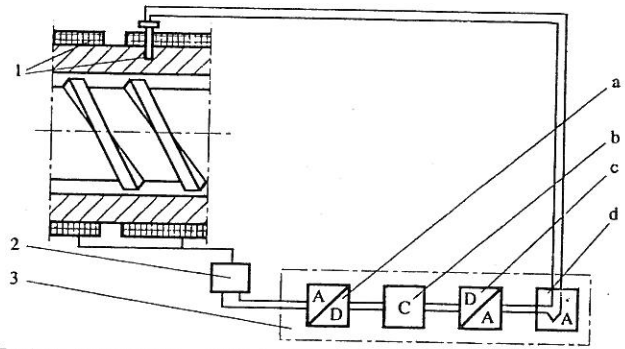


Fig.7.10. Reglarea temperaturii unității de injectare cu un regulator numeric de temperatură:
1 - element de sesizare; 2 - regulator numeric de temperatură; 3 - amplificator;
a - convertor analog digital; b - microcalculator; c - convertor digital; d - comparator.

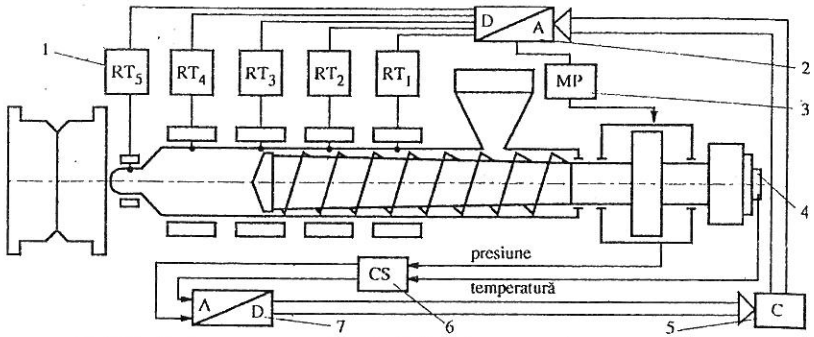


Fig.7.11. Reglarea temperaturii unității de injectare cu ajutorul calculatorului:
1 - termoregulator; 2 - convertor digital-analog; 3 - modificator de presiune; 4 - inel de contact (alunecare); 5 - calculator; 6 - condiționare semnal; 7 - convertor analog-digital.

scurte, temperatura reală fiind comparată cu temperatura prescrisă. Semnalul rezultat este transmis unui convertor digital analog care transmite spre microcalculator un semnal numeric. Microcalculatorul programat corespunzător determină valoarea semnalului de reglare și o transmite unui convertor analog - digital. Semnalul de la convertor este transmis corpurilor de încălzire. La acest tip de regulator temperatura din zona de încălzire este semnalată prin afișare numerică [8].

O stabilizare a temperaturii unității de injectare cu ajutorul calculatorului poate fi urmărită în *fig.7.11*. În sistem se măsoară temperatura la coada melcului și presiunea din sistemul hidraulic, semnalele analogice fiind introduse în calculator printr-un convertor analog - digital. Intervenția pentru modificarea temperaturii sau presiunii se realizează cu elemente proporționale de reglaj prin intermediul calculatorului. În cadrul algoritmului de reglare, cursa melcului se împarte în zone mai mici și pe intervale de timp are loc o reglare asemănătoare cu cea prezentată în *fig.7.10*. Deoarece temperatura materialului plastic topit se modifică mai rapid o dată cu modificarea presiunii hidraulice decât cu modificarea temperaturii peretelui cilindrului, schimbările rapide care intervin în sistem sunt compensate prin modificarea presiunii.

7.2.1.3. Reglarea temperaturii matriței

Calitatea piesei injectate este în mare măsură determinată de temperatura matriței de injectat. Temperarea matriței de injectat se realizează cu ajutorul apei de răcire din circuitul uzinal sau cu aparate de temperare speciale (capitolul 3).

În funcție de domeniul lor de utilizare aparatele de temperare se pot împărți în trei grupe conform *tab.7.1*. Reglarea temperaturii matriței de injectat cu aceste aparate folosește ca mărime de reglare temperatura de regim a mediului de răcire.

În cazul temperării directe, temperatura matriței este o mărime cvasiliniară iar timpul de răspuns la reglare este mare.

În cazul temperării indirecte, deși temperatura matriței este cvasiliniară, se obțin randamente mai bune și timpul de răspuns la reglare mai scurt. Schema de principiu la reglarea indirectă a temperaturii matriței este prezentată în *fig.7.12*. Mediul de răcire al matriței se află în rezervorul *6* unde poate fi încălzit cu rezistențele *7* și poate fi răcit prin intermediul unei serpentine cu apă *9*. Uleiul din rezervor este trimis în circuitul de

Tab.7.1. Tipuri de aparate de temperare.

Tip de aparat	Mediu de temperare	Sistem de încălzire	Sistem de răcire	Domeniu de temperatură al mediului	Domeniu de temperatură al mediului
Cu temperare directă	apă	electric	-	35...90°C	40...75°C
Cu temperare indirectă	ulei	electric	schimbător de de căldură cu apă	90...150°C	75...120°C
Cu lichid în amestec	apă cu lichid antigel	electric	agregat de răcire	-5...35°C	10...40°C

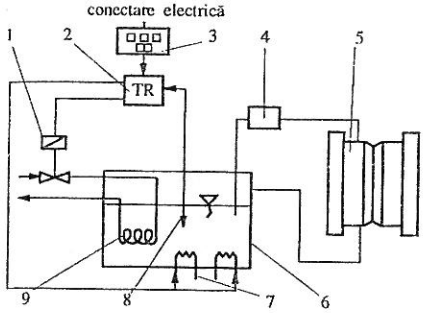


Fig.7.12. Reglarea temperaturii matriței la temperarea indirectă:
1 - electroventil; 2 - termoregulator; 3 - element de afișare; 4 - pompă; 5 - matriță; 6 - rezervor; 7 - element de încălzire; 8 - element sensibil; 9 - schimbător de căldură.

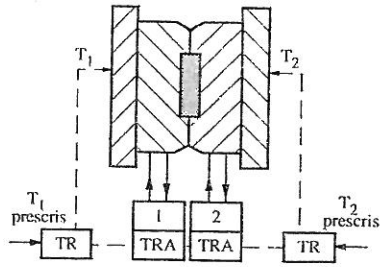


Fig.7.13. Temperarea în cascadă a unei matrițe:
TR - termoregulator de bază;
TRA - termoregulator auxiliar.

temperare al matriței de către pompa *4*. Termoregulatorul *2* menține la o valoare prescrisă temperatura uleiului din circuitul matriței. Sesizarea temperaturii uleiului se face cu termoelementul *8* iar modificarea debitului apei de răcire se realizează cu ajutorul ventilului electromagnetic *1*.

În cazul temperării cu lichid în amestec, temperatura matriței nu depinde de cantitatea de agent de temperare ci de temperatura lui. Între temperatura agentului și temperatura matriței există o dependență liniară care face posibilă reglarea continuă sau cvasicontinuă. În acest caz timpul de răspuns la reglare este mai scurt decât în cazurile precedente.

În cazul temperării în cascadă, temperatura peretelui matriței este elementul principal, iar valoarea agentului de temperare este elementul de reglare auxiliar. Schema de principiu al acestui sistem de reglare este prezentată în *fig.7.13*. Schema bloc de reglare în cascadă a unui sistem de temperare indirect este prezentată în *fig.7.14*.

La sistemul de reglare în cascadă, regulatorul de bază *TR* dă semnalul de bază pentru regulatorul auxiliar *TRA*.

7.2.2. Reglarea presiunii din matriță

Un factor important la realizarea umplerii cuibului matriței este presiunea de umplere

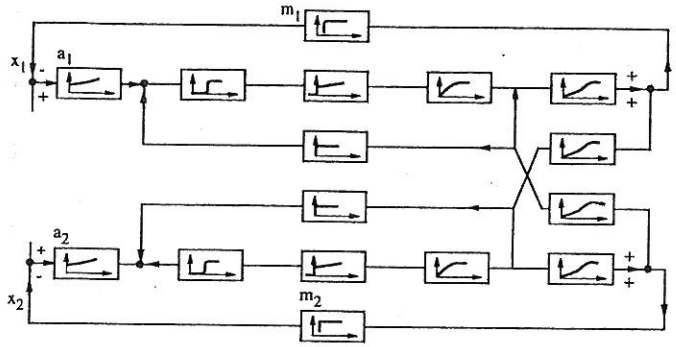


Fig.7.14. Schema bloc a sistemului de reglare cu metoda indirectă în cascadă: a_1, a_2 - termoregulatoare principale; m_1, m_2 - unităţi de măsurare; x_1, x_2 - mărimi de reacţie.

(presiunea interioară). Modificarea în timp a presiunii din interiorul matriţei determină în mare măsură calitatea piesei injectate [9].

7.2.2.1. Măsurarea presiunii

Există mai multe metode de măsurare a presiunii din matriţă [11, 12, 13]. Se cunosc două metode principale de măsurare a presiunii din matriţă:

- sistemul de măsurare piezoelectric;
- sistemul de măsurare cu mărci tensiometrice.

Sistemul de măsurare piezoelectric se bazează pe principiul piezoelectric, care constă în apariţia pe suprafaţa unui cristal de cuarţ a unei sarcini electrice proporţionale cu forţa exercitată pe suprafaţa sa (presiune) (*fig.7.15*).

Sistemul de măsurare cu mărci tensiometrice se bazează pe proprietatea unor corpuri de a se deforma proporţional cu o forţă aplicată pe suprafaţa sa (presiune). Mărcile tensiometrice pot fi cu fir metalic sau cu filament semiconductor (*fig.7.16*). Marca tensiometrică se lipeşte cu ajutorul unor răşini sau cimenturi speciale pe corpul a cărui deformare se măsoară.

Măsurarea presiunii din matriţă, folosind ambele sisteme, se poate face direct sau indirect [11, 12, 13].

Măsurarea directă a presiunii în matriţă se poate face ca în exemplul constructiv prezentat în *fig.7.17*. Elementul traductor *3* este montat într-un orificiu şi în contact direct cu materialul plastic din cuibul matriţei. Elementul traductor este fixat în poziţie cu ajutorul niplului de montaj *2*, în gaura filetată a plăcii matriţei *1*.

O soluţie constructivă de măsurare indirectă a presiunii din matriţă este prezentată în *fig.7.18*. Presiunea din cuibul matriţei este exercitată pe suprafaţa frontală a aruncătorului *3* şi transmisă traductorului de presiune *2*.

O altă soluţie constructivă de măsurare indirectă a presiunii este prezentată în *fig.7.19*.

7.2.2.2. Metode de reglare

Presiunea din matriţă în timpul injectării este sesizată din momentul în care frontul

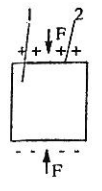


Fig.7.15. Principiul de funcţionare al unui cristal piezoelectric: 1 - cristal; 2 - armătură electrică.

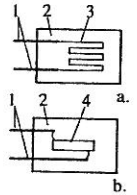


Fig.7.16. Mărci tensiometrice: a - cu fir metalic; b - cu filament semiconductor; 1 - terminale pentru contactoare; 2 - folie izolantă; 3 - fir metalic de mare rezistivitate; 4 - filament conductor.

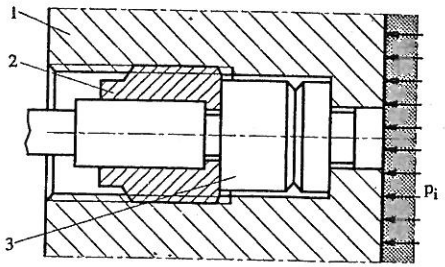


Fig.7.17. Măsurarea directă a presiunii interioare din matriţă: 1 - placă de formare; 2 - niplu de montaj; 3 - element traductor.

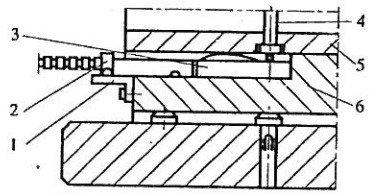


Fig.7.18. Măsurarea indirectă a presiunii interioare prin ştift aruncător: 1 - element de fixare; 2 - teacă de protecţie; 3 - traductor; 4 - aruncător; 5 - placă portaruncătoare; 6 - placă aruncătoare.

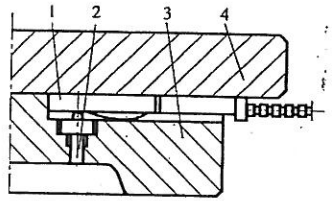


Fig.7.19. Măsurarea indirectă a presiunii interioare prin ştift de măsurare: 1 - traductor; 2 - ştift de presiune; 3 - placă de formare; 4 - placă de prindere.

de curgere ajunge la traductorul de presiune. Din acest motiv presiunea este dependentă şi de locul unde a fost montat în cuib traductorul de presiune. Practica a arătat că elementul sensibil la presiune se montează în prima treime a drumului de curgere, în apropierea locului de injectare [49]. Această plasare prezintă următoarele avantaje:

- topitura are vâscozitate mică şi se poate transmite uşor variaţia de presiune;
- la o umplere insuficientă a cavităţii matriţei, variaţia de presiune este totuşi sesizabilă.

Variaţia presiunii din matriţă este influenţată de variaţia presiunii din circuitul hidraulic de injectare. Reprezentând într-o diagramă presiunile din circuitul de injectare, acestea se prezintă ca în *fig.7.20* [9, 14].

Parametrii procesului de injectare care influenţează presiunea din matriţă sunt prezentaţi în *tab.7.2.* O tratare amănunţită a influenţelor diferiţilor parametrii asupra presiunii de injectare se găseşte în lucrările de specialitate [14, 15, 16, 17].

Influenţa cea mai puternică asupra presiunii de injectare o are momentul de trecere de la presiunea de injectare la presiunea ulterioară (moment de cuplare sau cuplare). Când cuplarea are loc prea devreme, are loc a scădere bruscă a presiunii din matriţă, iar când cuplarea se face cu întârziere are loc o creştere bruscă a presiunii din matriţă (*fig.7.21*).

Variaţia presiunii ulterioare are o puternică influenţă asupra presiunii interioare a matriţei şi depinde dacă materialul injectat este cristalin sau amorf (*fig.7.22*).

Tab.7.2. **Parametrii care influenţează presiunea din matriţă.**

Parametrul reglabil	Parametrul de influenţă
1. Plastifierea:	
- temperatura peretelui;	- temperatura materialului;
- presiunea dinamică;	- distribuţia de temperatură a materialului;
- turaţie.	- vâscozitate.
2. Închiderea matriţei:	
- limită de presiune;	- forţa de închidere;
- viteza de închidere.	- aerisirea matriţei.
3. Temperarea matriţei:	
- temperatura agentului de răcire;	- temperatura matriţei.
- debitul agentului de răcire;	
- timpul de cuplare.	
4. Injectarea:	
- presiunea de injectare;	- umplerea matriţei;
- presiunea ulterioară;	- lungirea zonei de răcire;
- viteza de înaintare a melcului;	
- timpul de cuplare;	- lungirea zonei de presiune ulterioară.
- timpul presiunii ulterioare.	

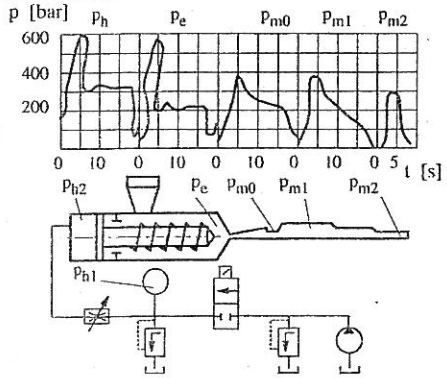


Fig.7.20. Diagrama presiunilor la o maşină de injectat: p_{h1}, p_{h2} - presiuni hidraulice; p_e - presiune exterioară; p_{m0} - presiunea din culee; p_{m1} - presiunea din matriţă lângă culee; p_{m2} - presiunea din matriţă la punctul cel mai îndepărtat de culee.

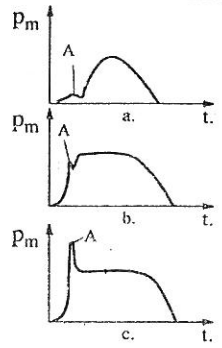


Fig.7.21. Variaţia presiunii din matriţă în funcţie de timpul de cuplare: a - cuplare foarte devreme; b - cuplare devreme; c - cuplare târzie; A - punct de cuplare.

Influenţa altor parametrii (tipul presiunii ulterioare, timpul de răcire, temperatura materialului plastic, temperatura matriţei) asupra presiunii din matriţă este prezentată în lucrarea [15].

O supraveghere a procesului tehnologic de injectare cu ajutorul presiunii din matriţă este foarte eficientă şi de aceea a făcut subiectul lucrărilor de specialitate [9, 14, 15].

În *fig.7.23* este prezentată modalitatea clasică de reglare a presiunii la o maşină de injectat. În varianta *I* reglarea se face cu semnal de comandă clasic, presiunea de injectare reglându-se cu supapa S_1 iar presiunea ulterioară cu supapa S_2. În varianta *II* reglarea presiunii se realizează cu supapa servohidraulică S_h folosind pentru presiunea de injectare valoarea U_1 a tensiunii, iar pentru presiunea ulterioară valoarea U_2 a tensiunii.

O altă variantă de reglare a presiunii a fost realizată de firma Dynisco, care foloseşte un sistem de reglare programabil (*fig.7.24*) [9, 16]. Semnalul din matriţă, preluat de

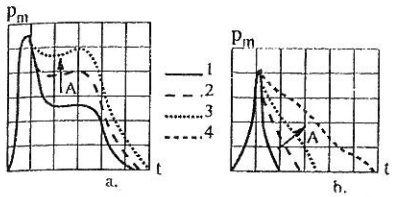


Fig.7.22. Influenţa presiunii ulterioare asupra presiunii din matriţă: a - la materiale cristaline (polietilenă) (presiune ulterioară: 1 - 50 bar; 2 - 65 bar; 3 - 80 bar); b - la materiale amorfe (polistiren) (presiune ulterioară: 1 - 1 bar; 2 - 30 bar; 3 - 40 bar; 4 - 65 bar); A - creşterea de presiune.

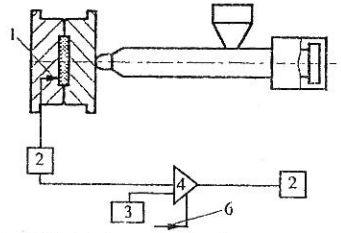


Fig.7.24. Reglarea presiunii din matriţă prin sisteme Dynisco (varianta simplă): 1 - palpator de presiune; 2 - traductor amplificator; 3 - ecran de afişare; 4 - servosistem programabil; 5 - servoventil; 6 - semnal de bază.

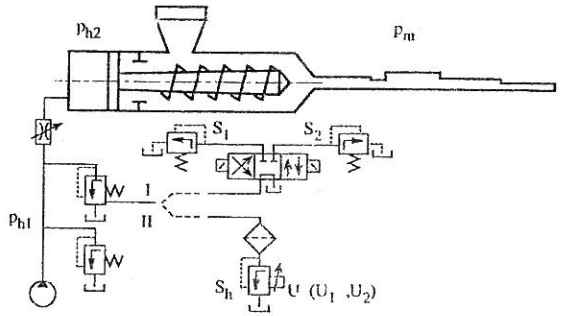


Fig.7.23. Sisteme de reglare clasică a presiunii: I - semnal de comandă clasic; II - semnal de comandă servohidraulic; p_{h1}, p_{h2} - presiuni hidraulice; p_m - presiune din matriţă; S_1, S_2 - supape de reglare; S_h - supapă servohidraulică; u_1, u_2 - tensiuni de reglare.

palpatorul de presiune *1* este comparat cu semnalul iniţial *6* în servosistemul programabil *4*. Pentru controlarea presiunii din matriţă se alege ca valoare de bază presiunea maximă din sistemul hidraulic. Presiunea din matrita se compară cu valoarea de bază, iar în cazul constatării unor diferenţe, servosupapa *5* schimbă presiunea hidraulică sau debitul uleiului hidraulic din sistemul hidraulic. Corecţia are loc după fazele corespunzătoare presiunii ulterioare, iar efectul se constată în ciclul următor. Acest sistem de reglare „ciclu cu ciclu" se bazează pe supravegherea presiunii care se reglează la două valori de presiune. Supapa de reglare [illegible] toleranţă la reglare (*fig.7.25*). Dezavantajul acestei metode este

- limitează valoarea vitezei la injectare;
- nu oferă posibilitatea reproducerii [illegible].

O soluţie îmbunătăţită de reglare a presiunii [illegible] tot de către firma Dynisco prin folosirea unui echipament logic „Dynac-Controler" [9, 16]. În acest caz se măsoară presiunea hidraulică şi se determină [illegible] hidraulice trăgându-se concluzii privind valoarea maximă a presiuni din matriţă. Sistemul este prezentat în *fig.7.26*. Variaţia presiunii din matriţă şi a presiunii hidraulice pentru sistemul de reglare a presiunii cu echipament logic „Dynac-Controler" este prezentată în *fig.7.27*.

Algoritmul de creştere folosit la reglare [illegible] funcţia

unde: $$J=k_1(T+\Delta T)+k_2(p_h+\Delta p_h)+k_3 g(p_{m\,max}+\Delta p_{m\,max}), \quad (7.1)$$

- k_1, k_2, k_3 - constante;
- p_h - valoarea presiunii hidraulice;
- Δp_h - variația presiunii hidraulice;
- p_m - valoarea presiunii din matriță;
- Δp_m - variația presiunii din matriță.

Valorile lui T și p_h sunt hotărâte de limitele de presiune ale regulatorului de presiune care se prestabilesc. Variațiile acestor valori (ΔT și Δp_h) de la valorile stabilite sunt folosite la corecțiile din cadrul ciclului. Dacă se ajunge la concluzia că valoarea $p_{m\,max}$ nu este valoarea corectă, atunci $\Delta p_{m\,max}$ se folosește la corecție în ciclul următor. Dezavantajul metodei constă în faptul că prelungește ciclul următor.

7.2.3. Reglarea vitezei de injectare

Cunoașterea vitezei de deplasare a frontului de topitură este un paramet ı foarte important pentru dirijarea procesului.

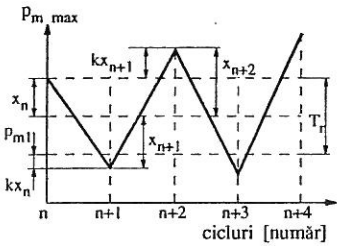


Fig.7.25. Reglarea presiunii din matriță prin sistemul Dynisco „ciclu cu ciclu":
n - număr de cicluri;
T_r - toleranța ventilului de reglare.

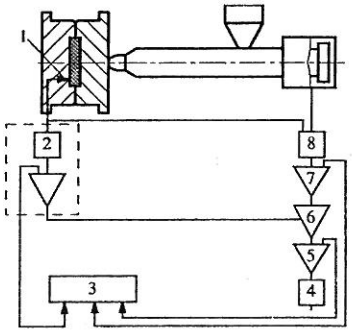


Fig.7.26. Reglarea presiunii din matriță prin sistemul Dynisco „Dynac-Controler":
1 - palpator de presiune; 2 - bloc de comparare; 3 - bloc de operare (cuprinde: potențiometru de nul, buton de reglare a presiunii, controlul presiunii din matriță, reglarea presiunii ulterioare, reglarea contrapresiunii); 4 - supapă electrohidraulică; 5 - servosupapă; 6 - sistem de reglare; 7 - semnalizator de proces; 8 - bloc logic.

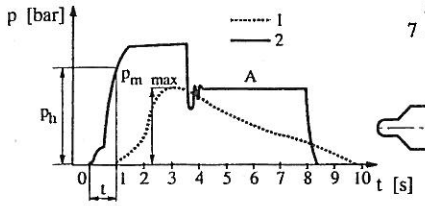


Fig.7.27. Variația presiunii din matriță și din circuitul hidraulic la sistemul de reglare „Dynac-Controler":
1 - presiunea de injectare; 2 - presiunea hidraulică; A - palierul presiunii ulterioare.

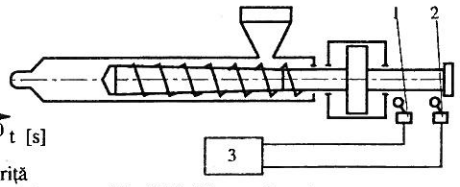


Fig.7.28. Sistem de măsurare a vitezei melcului:
1, 2 - limitatoare de cursă;
3 - aparat de măsurare a vitezei.

7.2.3.1. Măsurarea vitezei

Măsurarea directă a vitezei de înaintare a frontului de material se poate face numai cu aparate special construite pentru acest lucru. Din acest motiv în practică se folosește măsurarea vitezei de înaintare a melcului cu instalația prezentată în *fig.7.28.*

Aparatele de măsurare a vitezei melcului folosesc diferite traductoare:

- traductoare cu contact care transformă o deplasare mecanică într-un impuls electric ca o consecință a închiderii sau deschiderii contactului aflat într-un circuit electric;
- traductoare reostatice care constau dintr-un cursor care se deplasează sub acțiunea unei mărimi de măsurat;
- traductor inductiv de tip transformator;
- traductor inductiv de deplasare.

7.2.3.2. Metode de reglare a vitezei

Viteza de înaintare a melcului determină solicitarea topiturii pe parcursul injectării; de aceea este important să se realizeze o reglare corespunzătoare a acesteia. În *fig.7.29* este prezentat un sistem de reglare a vitezei (Hunkar). Acest sistem folosește un regulator al vitezei de înaintare al melcului și a presiunii din matriță. Trecerea de la reglarea vitezei melcului la reglarea presiunii are loc la o valoare reglată a presiunii.

7.2.4. Sisteme de reglare a presiunii și vitezei

Reglarea unor procese de injectare de precizie a impus soluții complexe de reglare atât a vitezei de injectare cât și a presiunii de injectare din matriță [8, 9, 16]. În *fig.7.30* este prezentat principiul de funcționare al unui astfel de sistem de reglare (IKV-H).

7.2.5. Reglarea pernei de material

Perna de material care se găsește în fața capului melcului nu are o mare influență asupra presiunii din matriță. Totuși, este esențial ca în fața melcului cantitatea

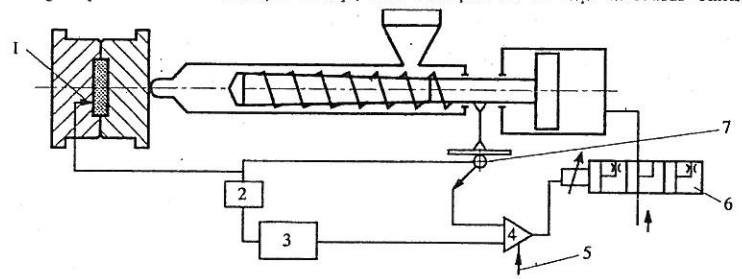


Fig.7.29. Sistem de măsurare a vitezei melcului:
1 - palpator de presiune; 2 - sincronizator de program; 3 - programator de viteză; 4 - servosistem programat; 5 - semnal de bază; 6 - servosupapă; 7 - sesizor de poziție.

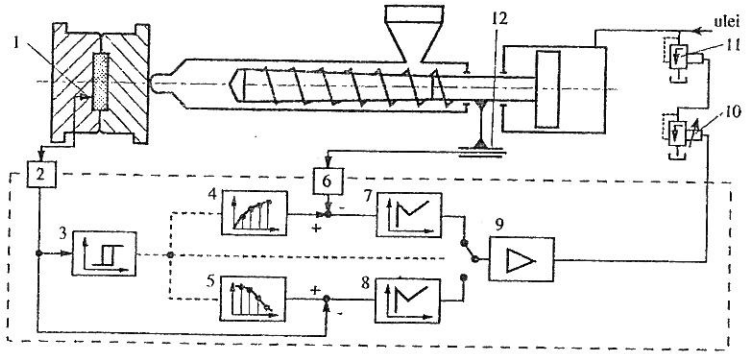


Fig.7.30. Sistem complex de reglare a vitezei melcului și presiunii din matriță:
1 - element sensibil la presiune; 2 - traductor de presiune; 3 - programarea valorii limită de reglare; 4 - programarea vitezei de injectare; 5 - programarea presiunii de injectare; 6 - amplificator de intrare; 7 - reglarea vitezei; 8 - reglarea presiunii; 9 - amplificator de ieșire; 10 - servovalvă; 11 - supapă de reglare; 12 - sesizor de poziție.

de material să nu fie nici prea mare nici prea mică. La o cantitate prea mică melcul se blochează și se întrerupe transmisia presiunii de la sistemul hidraulic al mașinii la matriță, presiunea din matriță devenind nereglabilă. O cantitate prea mare de material poate duce la neomogenități termice care pot determina degradări sau arsuri ale materialului. Reglarea pernei de material poate deveni o reglare auxiliară importantă. În *fig.7.31* este prezentat un sistem de reglare a pernei de material. În momentul în care presiunea din sculă ajunge la valoarea limită, sistemul de reglare controlează melcul stabilindu-i deplasarea de la un ciclu la altul și implicit cantitatea de material.

7.3. Sisteme de comandă cu calculator la mașina de injectat

Comanda mașinilor de injectat a fost studiată în capitolul 3, iar reglarea mașinilor se tratează în acest capitol. Parametrii de proces ai mașinii de injectat pot fi comandați și reglați în funcție de varianta constructivă a mașinii de injectat (*tab.7.3*).

La mașinile de injectat clasic procesul de comandă și supravegherea joacă un rol esențial, procesul de reglare fiind nesemnificativ.

Apariția elementelor electronice a marcat apariția celei de a doua generații de mașini de injectat. La mașinile de injectat care folosesc hidraulica digitală sau hidraulica proporțională, procesul de reglare a diferiților parametrii este extins (viteza de injectare, presiunea ulterioară, presiunea dinamică, temperatura matriței)

Mașinile cu comandă numerică (CN), pe lângă performanțele mașinilor de injectat amintite, oferă posibilitatea reglării digitale a deplasărilor. La aceste mașini se pot regla în plus și alți parametri (reglarea presiunii din matriță, viteza de înaintare a melcului). Prin dezvoltarea comenzii numerice (CN) cu ajutorul calculatorului s-a ajuns la sistemul CNC. Sistemul CNC este un sistem perfecționat de comandă care oferă posibilitatea controlului și corectării eventualelor erori.

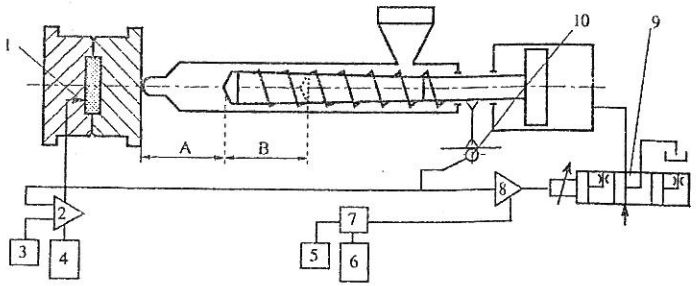


Fig.7.31. Sistem de reglare a pernei de material:
1 - element sensibil la presiune; 2 - bloc logic de dozare; 3 - pernă de material; 4 - factor de corecție; 5 - cursă înapoi; 6 - drum de dozare; 7 - element de însumare; 8 - servosistem programat; 9 - servoventil; 10 - sesizor de poziție; A - pernă de material; B - drum de dozare.

Tab.7.3. Parametrii de proces pentru diferite mașini de injectat.

Parametru de proces		Tip de mașină					
		Mașini clasice			Mașini moderne		
		1	2	3	4	5	6
Drumul melcului					+	0	0
Presiunea dinamică		+	+		0	0	0
Perna de material					+	+	+
Viteza de injectare					0	0	0
comutare	funcție de presiune	x	x	x	x	x	x
	funcție de deplasare				x	x	x
Temperatura matriței		+	+	+	+	0	0
Evoluția presiunii	hidraulică	+	+		0	0	0
	în matriță	+	+	+	0	0	0

LEGENDĂ: *+ supraveghere; x conducere; 0 reglare; 1...6 tipuri de mașini.*

În cadrul sistemelor simple comandate de calculator, calculatorul comandă reglarea în buclă închisă și efectuează supravegherea unor faze [9]. În aceste cazuri, pentru realizarea reglării se utilizează presiunea și temperatura din matriță. În *fig.7.32* este prezentată reglarea presiunii din matriță cu ajutorul calculatorului. Calculatorul, urmărind curba presiunii determinată experimental, realizează urmărirea și reglarea. În cazul ciclurilor scurte mașina de injectat este incapabilă să realizeze reglarea în cadrul ciclurilor și de aceea calculatorul presupune curba constantă de la ciclu la ciclu. Parametrii sunt hotărâți de calculator dintre valorile măsurate pe parcursul desfășurării procesului cu ajutorul unui program. Valorile găsite sunt comparate cu valorile stabilite inițial.

Procesul de injectare poate fi condus cu ajutorul calculatorului. Schema bloc de conducere a procesului de injectare cu ajutorul calculatorului este prezentată în *fig.7.33.*

Elementele de sesizare 1 sunt traductoare - sesizoare care transformă parametrii tehnologici măsurați în mărimi măsurabile electric. Se pot exemplifica: termoelementele care produc tensiuni electrice în funcție de temperatură, sesizoarele care în funcție de presiune produc variații de tensiuni electrice, respectiv variații de rezistență, etc. Aceste tipuri de seisizoare produc semnale analoage, continue.

Alte elemente de sesizare produc semnale discrete care pot fi prelucrate de microcalculator. Se pot exemplifica: traductoarele de deplasare, traductoare potențiometrice,

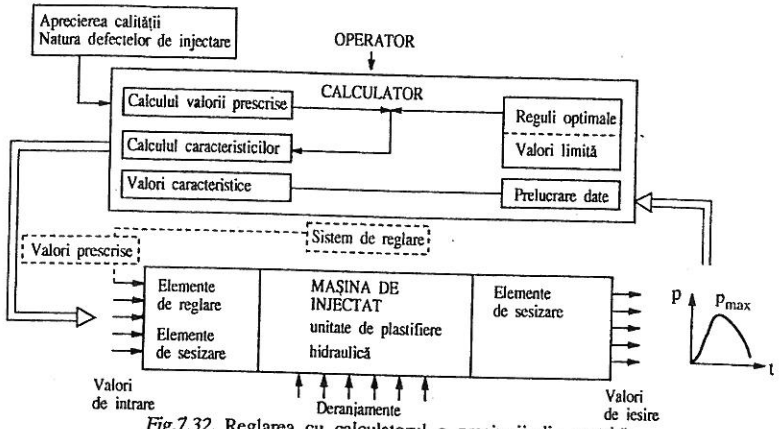


Fig.7.32. Reglarea cu calculatorul a presiunii din matriță.

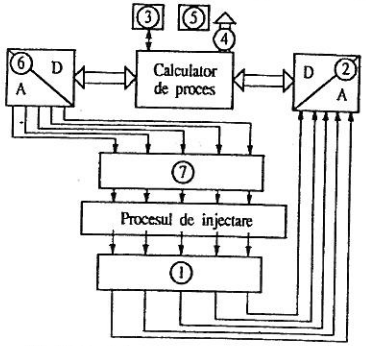


Fig.7.33. Schema bloc de comandă cu calculatorul a procesului de injectare:
1 - element de sesizare; 2 - convertoare de intrare; 3 - unitate de operare-afișare; 4 - transmisia datelor în calculatorul central; 5 - aparate de afișare; 6 - convertoare de ieșire; 7 - elemente de acționare.

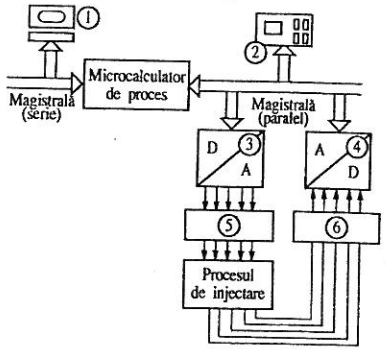


Fig.7.34. Structura unui sistem de comandă cu microcalculator la conducerea și reglarea procesului de injectare:
1 - unitate de afișare; 2 - unitate de operare-afișare; 3 - convertor digital analog; 4 - convertor analog digital; 5 - element de acționare; 6 - element de sesizare.

traductoare bazate pe variație de rezistență, etc.

Convertoarele de intrare 2 transformă semnalul analog primit de la elementele de ieșire în semnal direct care poate fi prelucrat de calculator.

Unitatea de operare-afișare 3 face legătura dintre operator și sistem. Prin ea comunică datele inițiale necesare comenzilor de conducere și prin ea se afișează datele referitoare la starea procesului tehnologic condus. Datele inițiale pot fi: presiunea din interiorul matriței, presiunea finală, temperatura matriței, viteza de injectare, presiunea exterioară. Comenzile de conducere pot fi, de exemplu, oprirea, pornirea, alegerea parametrilor afișați, depozitarea și înregistrarea valorilor prescrise.

Unitatea de afișare, pe lângă informațiile înregistrate, poate afișa și valorile instantanee ale parametrilor tehnologici și erorile posibile. Afișarea cea mai comodă se poate realiza pe un ecran.

Transmisia datelor în calculatorul central 4 se realizează între calculatorul central de conducere a procesului și sistemul de urmărire a procesului, care prin prelucrarea directă a datelor reduce munca administrativă manuală îmbunătățind astfel calitatea conducerii procesului.

Înregistrarea datelor secvențiale ale fabricației 5 se realizează cu ajutorul aparaturii legate la calculator, cu ajutorul căruia se pot lista diferiți parametri tehnologici de fabricație.

Convertoarele de ieșire 6 sunt legate la ieșirea din calculator și transformă semnalele numerice produse de microcalculator în mărimi capabile de a acționa elementele de comandă.

Elementele de comandă 7 activează unitățile sistemului condus, respectiv sursele de energie (motoare de acționare, pompe, supape).

O problemă fundamentală a conducerii procesului prin calculator o constituie fiabilitatea calculatorului și costul ridicat al sistemului automat. Defectarea calculatorului poate avea urmări greu de evaluat, uneori și ireversibile. În lucrările de specialitate se prezintă și alte sisteme de comandă cu calculator care să elimine deficiența semnalată [2].

Reducerea costului și dimensiunii calculatorului se poate realiza prin folosirea microprocesorului ca unitate centrală. Defectarea microprocesorului poate conduce la aproape aceleași rezultate dezastruoase ca la sistemele cu calculator central.

Folosirea unui sistem de reglare și comandă cu microcalculator se face în principiu după schema din *fig.7.34.* Microcalculatorul este comandat de un element de sincronizare externă (nefigurat) și cuprinde cel puțin o memorie volatilă RAM și o memorie nevolatilă PROM. Prin intermediul a două magistrale, una serie și alta paralel, sunt conectate periricele necesare. Magistrala paralelă conectează microcalculatorul cu cele două convertoare, prin intermediul cărora se face comanda și reglarea procesului.

Listele de comandă și reglare a procesului de injectare cu microprocesor sau microcalculator vizează:

- parametrii reglați: viteza de injectare, profilul vitezei de injectare, presiuni ulterioare (în funcție de timp), presiunea de umplere, volumul de injectare, presiunea exterioară, perna de material;
- parametrii măsurați: temperatura materialului, temperatura matriței, forța de închidere, forța de menținere a închiderii, lungimea de injectare, masa reperului injectat;
- date stabilite (semnale de bază): viteza de injectare și profilul ei, presiunea de injectare, presiunea ulterioară și profilul ei, cursa de dozare, mărimea pernei de material, timpul de umplere, timpul de acționare a presiunii ulterioare, posibilități de eliminare a gazelor;
- parametrii afișați și semnalizați: presiunea de injectare maximă, presiunea de umplere, presiunea ulterioară, presiunea exterioară, viteza de injectare, poziția melcului;
- elemente de sesizare (măsurare): sesizoare de presiune hidraulică, sesizoare pentru diferențe de presiune hidraulică, sesizoare de forță (în matriță), sesizoare de presiune (în matriță), sesizoare de temperatură a topiturii, sesizoare de forță de împingere a melcului;
- elemente de acționare (reglare): supape servohidraulice, supape proporționale;
- comanda de reglare: direct sau în ciclul următor.

Microprocesorul, respectiv micocalculatorul cu microprocesor, pe lângă elementele de comandă mai redusă asigură și alte avantaje:

- toate datele esențiale sunt înregistrate pe suporturi de date moderne (dischete, casete sau benzi magnetice). La producția repetată a unei piese injectate este suficientă citirea datelor existente; astfel pregătirea și pornirea mașinii durează foarte puțin iar eroarea subiectivă este eliminată;
- la prima pornire (produs nou) datele sunt sistematizate și se pot înregistra ușor. La înregistrarea comandată datele apar în ordine logică pe ecran, neputând fi omisă nici o valoare;

- analiza datelor eronate se face automatizat, datele în afara domeniului admis neputându-se înregistra;
- diagnosticarea automată în cazul unor defecțiuni, sursa acestui defect afișându-se pe ecran;
- posibilitatea legării sistemului la un calculator central de conducere a procesului.

Având avantajul performanțelor și a prețului de cost relativ mai scăzut microprocesoarele s-au extins în procesul de comandă prin dezvoltarea sistemelor de inteligență distribuită (împărțită).

Grație posibilităților de comunicare între subunități, procesul de injectare este împărțit în subprocese, funcție de modul de grupare al mărimilor de intrare și ieșire. Un astfel de sistem dotat cu sununități inteligente este coordonat de o unitate superioară (*fig.7.35*).

Sistemul de microprocesoare cu inteligență distribuită poate fi alcătuit din mai multe circuite de comandă (*fig.7.36*):

- sistemul de reglare a temperaturii;
- sistemul pentru injectare și presiune ulterioară;
- unitatea logică programabilă;
- sistemul de alarmă;
- unitatea de înregistrare a produsului.

Sistemul de reglare a temperaturii cuprinde reglarea temperaturii cilindrului, reglarea temperaturii duzei, reglarea temperaturii sculei, condiționarea temperaturii pâlniei de alimentare, reglarea temperaturii materialului din fața melcului în funcție de temperatura cilindrului.

Sistemul pentru injectare și presiune ulterioară realizează reglarea vitezei, cuplarea pe presiune ulterioară. Sistemul funcționează unitar cu sistemul de reglare a temperaturii.

Unitatea logică programabilă realizează adaptarea sistemului de comandă al injectării și presiunii ulterioare la presiunea sculei. Rolul unității este să primească semnale digitale de la limitatoarele de cursă, să primească semnale de reglare a timpului de la panoul de comandă și de la microprocesorul central, să primească semnale digitale de la sistemul de modificare al funcționării și de la panoul de comandă, să dea semnale despre circuitele de reglare la organele de execuție.

Sistemul de avertizare are rolul de semnalizare în următoarele cazuri: suprasolicitarea motorului, poziționarea incorectă a sculei.

Unitatea de înregistrare a produsului are rolul de a furniza informații despre produs: denumirea produsului, gabarit, greutate, indicatori de calitate ai piesei injectate, numărul

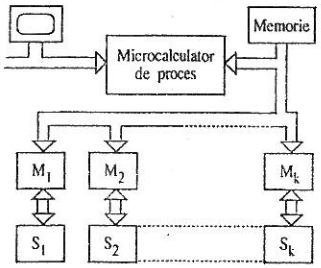


Fig.7.35. Structura ierarhică cu K subunități inteligente: $M_1...M_k$ - microprocesoare; $S_1...S_k$ - subprocese.

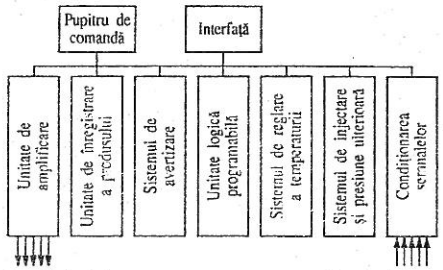


Fig.7.36. Schema sistemului de conducere și reglare a injectării cu inteligență distribuită.

total de piese corespunzătoare calitativ.

Rolul microprocesorului central care este unitatea superioară poate îndeplini sarcini de supervizare (optimizare), memorarea parametrilor, etc.

7.4. Modalități de automatizare a procesului de injectare

Există mai multe modalități concrete de automatizare a procesului de automatizare a procesului de injectare. Ne vom limita la acele soluții care nu au fost dezbătute pe parcursul lucrării atunci când a fost tratată piesa injectată, matrița de injectat sau mașina de injectare.

Principalele posibilități de automatizare pot fi:

- scoaterea automată a pieselor injectate din matriță (eventual a rețelei de injectare);
- montarea și demontarea matriței de injectat;
- alimentarea și schimbarea materialului plastic;
- schimbarea cilindrului de injectare al mașinii.

Pentru realizarea acestor variante de automatizare a procesului de injectare se folosesc: manipulatoare, roboți industriali, sisteme pneumatice de alimentare cu material plastic, etc.

7.4.1. Scoaterea automată a pieselor injectate și a rețelei cu ajutorul roboților

7.4.1.1. Roboți

Automatizarea suplă, reprezentând cel mai înalt nivel al automatizării programabile se organizează pentru producția discretă în loturi, în celule de fabricație controlate și conduse de calculator și deservite de unul sau mai mulți roboți.

Roboții sunt sisteme generale electro-pneumo-hidro-mecanice cu mai multe grade de libertate capabile să execute autonom și automat operații de manipulare sub controlul unui sistem de comandă echipat cu o memorie programabilă [45].

Caracteristicile tehnice ale roboților includ: dimensiuni, valorile deplasărilor realizabile, precizia, repetabilitatea, număr de grade de libertate, tipul de acționare, greutatea, volumul spațiului de lucru, capacitatea sistemului de comandă și control, viteză, sarcina transportabilă, posibilitatea de a dispune de mai multe brațe de lucru. Robotul este capabil să efectueze operații de manipulare simplă sau complexă.

Un robot se compune din trei elemente esențiale: sistemul de acționare, sistemul de comandă și manipulatorul.

Sistemul de acționare. Alegerea modului de acționare și comandă a unui robot depinde în principal de natura operațiilor elementare, capacitatea de manipulare, precizia de poziționare, viteza de deplasare și structura sistemului de automatizare. În construcția roboților ca surse de energie se utilizează motoarele pneumatice, electrice sau hidraulice rotative, liniare sau oscilante.

Acționarea electrică este preferată în construcția roboților, tinzând să se dezvolte tot mai mult datorită disponibilității energiei electrice, a simplității racordării motoarelor electrice la rețea și mai ales datorită modalității simple de reglare a mișcărilor și compatibilității acestui tip de acționare cu sistemul de comandă și construcție a senzorilor.

Acționarea pneumatică este cea mai facilă. Ea prezintă avantajul unei viteze mari de acționare, o elasticitate crescută și posibilitatea de conectare a sistemului la rețeaua de aer comprimat.

Acționarea hidraulică se remarcă prin robustețe, puteri mari de acționare, oferind bune posibilități de reglare.

Avantajele diverselor tipuri de acționare pot fi reunite în sisteme combinate, care să materializeze disponibilităților deosebite oferite de prelucrarea electronică și pneumatică a semnalelor de comandă și de puteri specifice mari care caracterizează sistemele hidrostatice.

Sistemul de comandă. Elementele care compun sistemele de comandă sunt de tip electric, hidraulic, pneumatic sau combinat, conform celor descrise în capitolul 3.

Manipulatorul robotului este format din subansamblele:

- *sistem de pretensiune.* Acesta este organul manipulator care servește la apucarea și ținerea obiectului manipulat;
- *sistem de ghidare.* Acesta este organul care imprimă dispozitivului de pretensiune și obiectului manipulat o anumită mișcare bine determinată. Ansamblul dispozitiv de ghidare - dispozitiv de pretensiune poate realiza trei deplasări de-a lungul axelor unui sistem de coordonate și trei rotații în jurul acelor axe (*fig.7.37*). Aceste mișcări se numesc, convențional, *grade de libertate.* Pe lângă aceste mișcări există și o mișcare de strângere - desfacere a obiectului manipulat, realizat de mecanismul de pretensiune.

7.4.1.2. Scoaterea pieselor și a rețelei din matriță

Pentru scoaterea pieselor injectate din matriță se folosesc diferite tipuri constructive de roboți [39, 40, 41].

Un robot pentru scoaterea pieselor injectate este prezentat în *fig.7.38.* Această construcție de tip modular este realizată de firma Battenfeld în multiple variante constructive

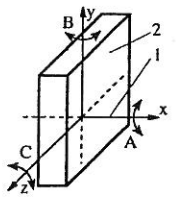


Fig.7.37. Sistem de coordonate ale robotului la o mașină de injectat: 1 - axa mașinii; 2 - piesa injectată; A, B, C - rotații.

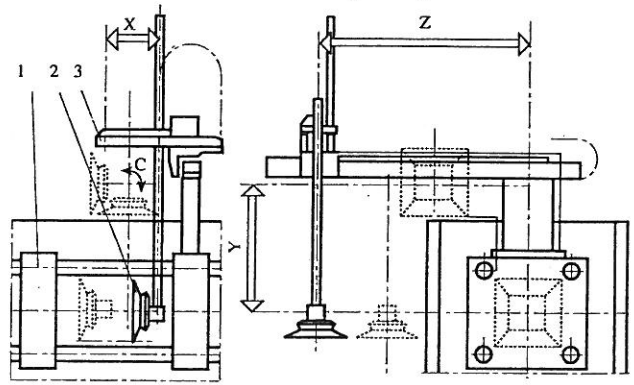


Fig.7.38. Robot industrial pentru extragerea pieselor injectate din matriță: x, y, z - axe principale; C - rotație piesă; 1 - mașină de injectat; 2 - piesă injectată; 3 - robot.

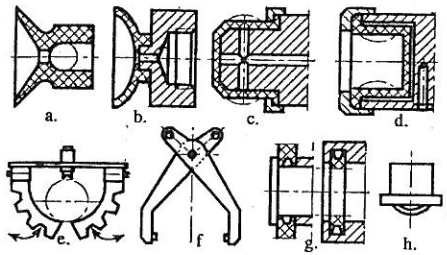


Fig.7.39. Elemente de prindere pentru piese injectate ale unui robot: a - sorb de adeziune; b - sorb cu vacuum; c - gheară de interior; d - gheară de exterior; e - aruncător tip deget; f - braț mecanic; g - element cu tensiune inelară; h - element magnetic.

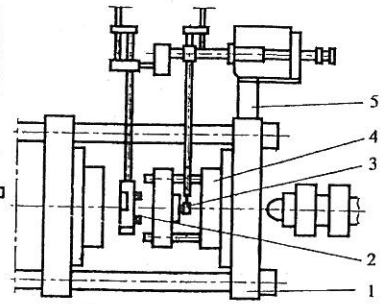


Fig.7.40. Robot pentru scoaterea piesei injectate și a rețelei de injectare: 1 - mașină de injectat; 2 - piesă; 3 - rețea de injectare; 4 - matriță; 5 - robot.

pentru diferite mașini de injectat, putând manipula piese injectate până la 20 kg. Forma constructivă a dispozitivelor de pretensiune a roboților depinde de forma piesei injectate care trebuie manipulată, greutatea ei, starea de rigiditate și gradul de precizie poziționat cerut [39, 40, 41, 42]. În *fig.7.39* se prezintă diferite soluții constructive a dispozitivelor de pretensiune.

În cazul folosirii unor matrițe de injectat care se deschid în două plane de separație, iar rețeaua de injectare trebuie scoasă separat din matrițe, se poate folosi un robot cu două sisteme de pretensiune (*fig.7.40*).

Roboții se pot folosi de asemenea pentru introducerea unor inserții în matrița de injectat.

7.4.2. Sisteme de schimbare a matrițelor de injectat

Introducerea de către diferite firme a unor sisteme automate de schimbare a matriței a determinat creșterea gradului de automatizare a procesului de injectare.

Sistemele de schimbare a matrițelor se împart în funcție de direcția de schimbare a matriței în [42]:

- sisteme de schimbare orizontale;
- sisteme de schimbare verticale.

7.4.2.1. Sisteme de schimbare orizontale

Sistemele de schimbare orizontale pot fi:

- de tip masă;
- de tip cărucior.

Sistemul de schimbare de tip masă este o soluție constructivă staționară folosită pentru înlocuirea a 2 până la 5 matrițe. Schimbarea matrițelor se face rapid, în mai puțin de 2 minute. În *fig.7.41* este prezentată soluția constructivă pentru schimbarea

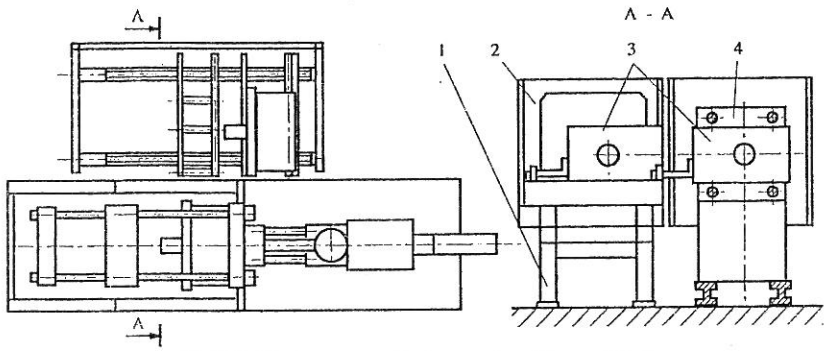


Fig.7.41. Masă pentru schimbarea automată a matriței:
1 - masă; 2 - grilaj de protecție; 3 - matrițe; 4 - mașină.

a două matrițe. Schimbarea rapidă a matriței este completată de sisteme adecvate de fixare a matriței pe platourile mașinii de injectat. Există mai multe metode de fixare a matriței pe platourile mașinii [41, 43, 44, 46, 47].

Sistemul din *fig.7.42* folosește pentru fixare cilindrii pneumatici, așezați pe fețele platourilor de prindere ale mașinii, care cu ajutorul tijelor realizează o fixare conică pe plăcile de prindere ale matriței.

Sistemul din *fig.7.43* folosește pentru fixare cilindrii pneumatici, așezați pe fețele laterale ale platourilor de prindere ale mașinii, și care cu ajutorul tijelor realizează o fixare conică în coloanele de fixare ale matriței.

Un alt sistem de schimbare orizontală a matrițelor de injectat este cel de tip cărucior, care poate fi:

- cărucior acționat manual pentru matrițele mici (*fig.7.44*);
- liber, condus de către operator cu cărucior acționat pneumatic pentru matrițele medii și grele;
- liber, condus de către operator cu cărucior cu role pentru matrițe medii;
- cu cărucior condus inductiv pentru matrițele mici și medii;
- cărucior pe șine pentru matrițele grele și foarte grele (*fig.7.45* și *7.46*).

La sistemul de schimbare cu cărucior pe șine, căruciorul se poate mișca între două rânduri

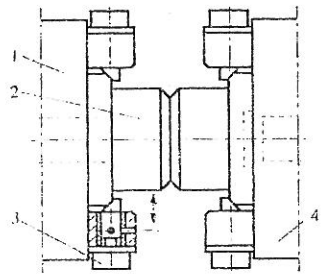


Fig.7.42. Sistem de fixare a matriței:
1 - platoul mobil al mașinii;
2 - matriță; 3 - cilindru pneumatic;
4 - platoul fix al mașinii.

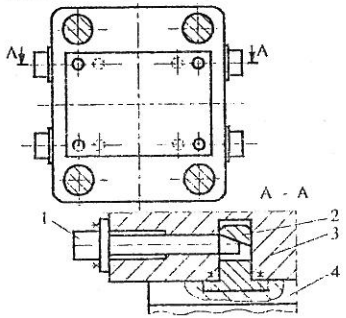


Fig.7.43. Sistem de fixare a matriței:
1 - cilindru pneumatic; 2 - coloană de fixare;
3 - platou mașină; 4 - matriță.

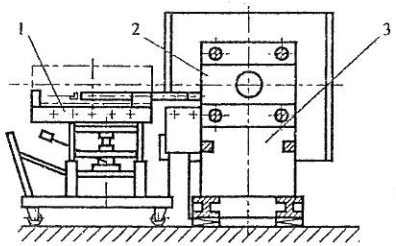


Fig.7.44. Sistem de schimbare a matriței cu cărucior acționat manual:
1 - cărucior; 2 - matriță; 3 - mașină.

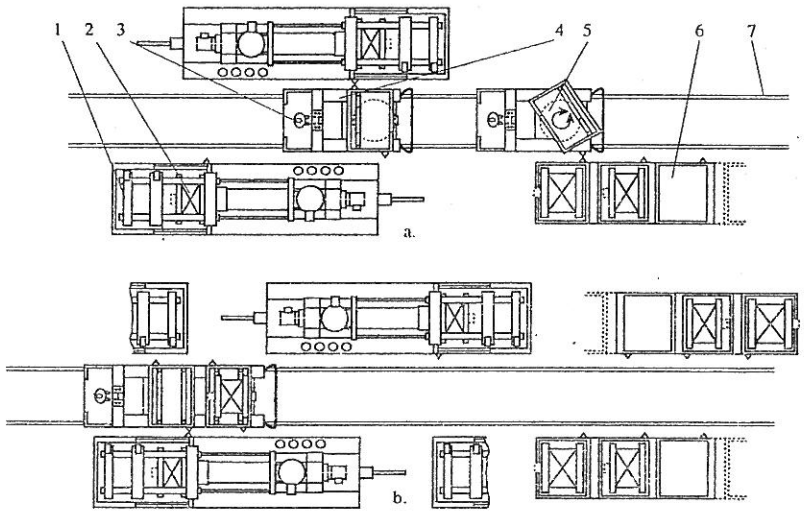


Fig.7.45. Sistem de schimbare a matriței cu cărucior pe șine:
a - cărucior cu un post; b - cărucior cu două posturi;
1 - mașină; 2 - matriță; 3 - operator; 4 - cărucior; 5 - masă rotativă; 6 - magazie; 7 - șină.

de mașini de injectat fiind dotat cu un singur post de încărcare și masă rotativă (*fig.7.45.a*) sau cu două posturi de încărcare (*fig.7.45.b*). În acest ultim caz căruciorul poate fi utilizat bilateral cu condiția să fie echipat cu două elemente de tracțiune. În alt caz căruciorul cu două posturi se poate mișca pe șine între mai multe șiruri de mașini *fig.7.46*. În acest caz există la intersecția șinelor platouri rotitoare, care permit aceluiași cărucior de a încărca în ambele părți, căruciorul fiind avantajos încărcat cu un acumulator electric și un încărcător cu funcționare hibridă.

7.4.2.2. Sisteme de schimbare verticale

Sistemele de schimbare verticală pot fi:

- de tip robot portal;
- de tip macara.

Sistemul de schimbare a matriței cu robot portal este prezentat în *fig.7.47*. Acest sistem asigură schimbarea automată a matriței precum și transportul la magazie. Robotul posedă două brațe vericale de prindere *2* cu care se fixează matrițele prin intermediul

mecanismului de pretensiune. Portalul asigură transportul matriței între mașini și până la magazie.

Există și sisteme de schimbare cu macara care permit o automatizare flexibilă [42].

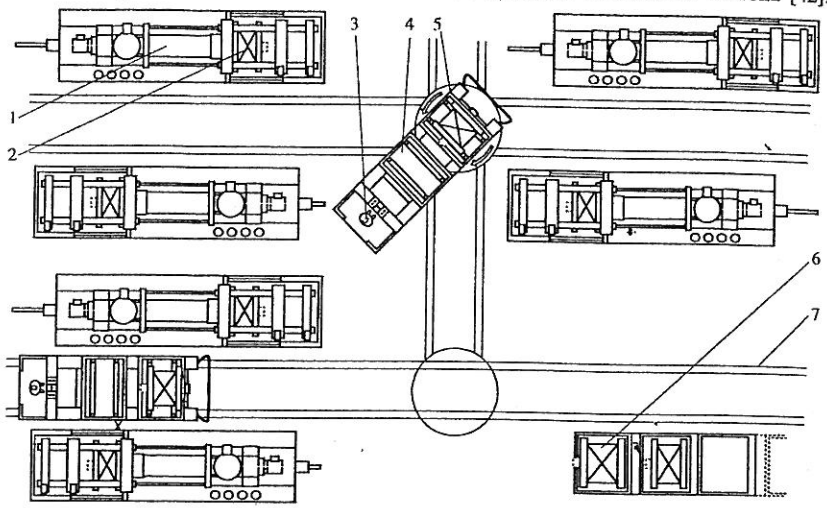


Fig.7.46. Sistem de schimbare a matriței pentru mai multe rânduri de mașini cu cărucior pe șine:
1 - mașină; 2 - matriță; 3 - operator; 4 - cărucior; 5 - placă turnantă; 6 - magazie; 7 - șină.

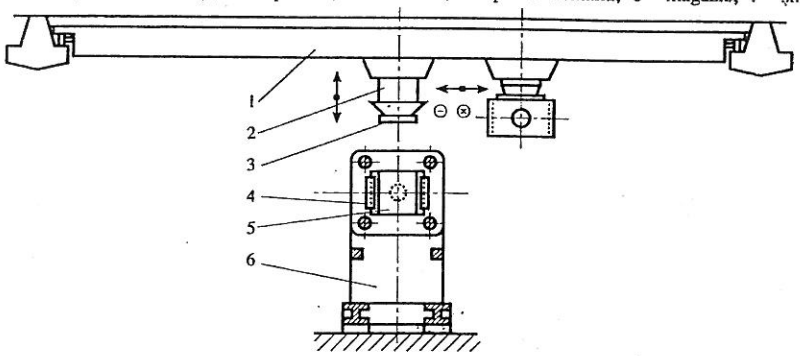


Fig.7.47. Sistem de schimbare a matriței cu robot portal:
1 - portal; 2 - braț vertical; 3 - dispozitiv de pretensiune; 4 - sistem de fixare a matriței; 5 - matriță; 6 - mașină.

7.4.3. Sisteme de transport a pieselor injectate

Pentru transportul pieselor injectate din zona mașinii de injectat există diferite variante constructive (*fig.7.48*).

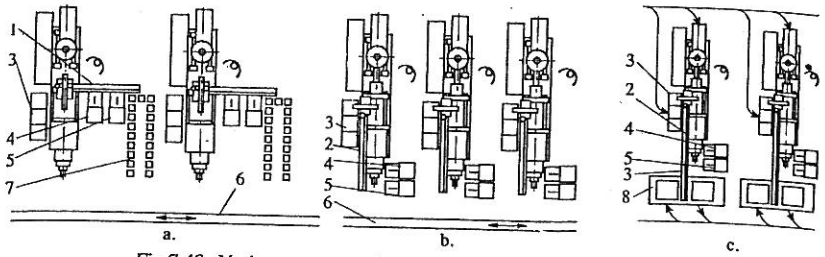


Fig.7.48. Variante constructive de transport a pieselor injectate:
1 - robot cu transportor transversal; 2 - robot cu transportor longitudinal; 3 - schimbător de matriță; 4 - montaj; 5 - asigurarea calității; 6 - bandă transportoare; 7 - bandă transportoare intermediară; 8 - masă de stivuire.

În varianta din *fig.7.48.a* transportul pieselor din zona mașinii de injectat se realizează prin robotul transversal *1* la banda transportoare *7* și apoi la banda transportoare finală *6*.

În varianta din *fig.7.48.b* transportul pieselor din zona mașinii se realizează prin robotul longitudinal *2* la banda transportoare finală *6*.

În varianta din *fig.7.48.c* transportul pieselor de dimensiuni mari se realizează prin robotul longitudinal *2* până la o masă de stivuire *8* unde se face așezarea pe paleți.

7.4.4. Sisteme de alimentare cu material plastic

La sistemele automate flexibile există soluții constructive de a asigura alimentarea automată a mașinii de injectat [48, 49].

O soluție de alimentare pneumatică cu material și de schimbare automată a materialului la un grup de mașini este prezentată în *fig.7.49.* Sistemul cuprinde un dispozitiv de construcție specială *6* pentru realizarea automată a schimbării materialului. Restul de material din sistemul de plastifiere a mașinii, la schimbarea cu un nou material, este trecut în mod automat într-un vas special *4* aflat lângă mașină.

Un sistem automat integrat al unei mașini de injectat poate cuprinde toate sistemele automate prezentate anterior (*fig.7.50*).

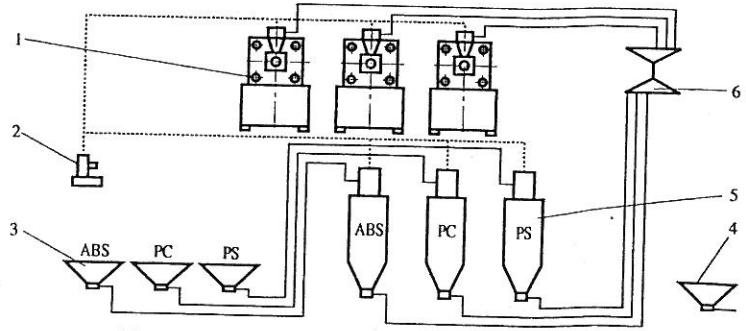


Fig.7.49. Sistem de alimentare automat cu material plastic:
1 - mașină de injectat; 2 - pompă de vacuum; 3 - pâlnie de material; 4 - pâlnie pentru granulat; 5 - uscător; 6 - sistem de schimbare material.

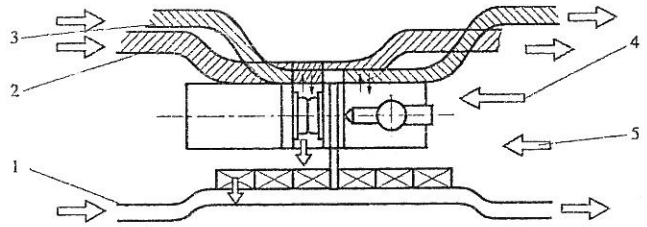


Fig.7.50. Sistem automatizat la o mașină de injectat:
1 - bandă transportoare pentru piesele injectate; 2 - sistem de transport matriță;
3 - sistem de transport cilindru de injectare; 4 - sistem de transport al materialului;
5 - furnizare de date de la calculator și sistemul *CAM*.

7.5. Calculatorul în procesul injectării

Independent de gradul de interconectare și de nivelul de automatizare dobândit, folosirea calculatorului în procesul de injectare este din ce în ce mai răspândită.

7.5.1. Noțiuni de bază

În domeniul folosirii calculatorului s-au dezvoltat concepte specifice [18].

7.5.1.1. Proiectarea asistată de calculator

Proiectarea asistată de calculator (*CAD* - Computer Aided Design) este un concept care acoperă toate aspectele legate de proiectarea și desenarea obiectului tehnic (mașină de injectat, piesă, matriță). Rezultatul este descrierea obiectului pe un display grafic extern sau într-un cod al calculatorului într-o formă pretabilă pentru utilizarea în procesul de fabricație. În proiectare dezvoltarea trece prin următoarele faze:

- determinarea problemelor;
- elaborarea proncipalelor soluții;
- proiectarea (realizarea machetei cu dimensiunile, specificația, documentația).

În plus compartimentul de proiectare trebuie să mai asigure:

- evaluarea testelor, modelelor funcționale sau a modelelor de fabricație;
- pregătirea pentru fabricație.

La nivelul software-ului de aplicație pentru *CAD* tendința este spre sisteme tridimensionale care permit prin metode de reprezentare bazate pe elemente de volum, execuția sarcinilor legate de calcule și desenare, precum și automatizarea sarcinilor de modelare pe plan sau în spațiu. Elementele software au ca bază metoda elementelor finite (*FEM* - Finite Elemente Methode).

Sistemele bidimensionale utilizate în aplicații de inginerie permit crearea de desene atât ale obiectelor primitive cât și a celor parametrice. Ele operează cu drepte, puncte, cercuri și elipse și au disponibilități pentru includerea de texte, atribute, mărci, etc., relative

la obiectul tratat. Cu aceste sisteme este posibilă rezolvarea unor probleme de geometrie plană, dimensionări, etc. Transformările, modificările și rotațiile sunt incluse în sisteme. Manevrarea sau tratarea suprafețelor generale sunt considerate cap robleme separate.

Sistemele *CAD* sofisticate au facilități pentru rezolvarea acestor probleme în plan sau în spațiu. O componentă importantă a software-ului pentru *CAD* este capacitatea lor efectivă de a manevra elemente de gestionare a bazelor de date. Din acest punct de vedere, numeroase sisteme software complexe sunt dezvoltate pe baza produselor - program ale utilizatorilor. Astfel aceste sisteme tind să fie specializate pentru un număr important de produse. Aceste sisteme au avantajul de a fi compacte, dar în schimb au dezavantajul specializării înguste.

7.5.1.2. Planificarea producției asistată de calculator

Planificarea producției asistată de calculator (*CAP* - Computer Aided Planing) include toate etapele necesare de elaborare a secvențelor procesului de fabricație al produsului, rezultatul aparând ca o reprezentare pe un display grafic extern sau ca o descriere internă a calculatorului a întregului proces de fabricație. Planificarea producției asistată de calculator cuprinde:

- planificarea secvențelor procesului de fabricație;
- planificarea și programarea necesarului de materiale;
- programarea echipamentului de fabricație.

Sistemele *CAP* sunt deservite de software de bază uzual și software grafic de bază, suplinite cu software pentru gestiunea unei baze de date standard cu acces pe microcalculatoare.

În ultimul timp, tendința este spre dezvoltarea unor sisteme specifice pe domenii de aplicație, dar nu ca unități de programare independente, ci mai degrabă ca componente ale unor sisteme complexe pentru automatizarea activităților tehnice și de alt gen din societăți.

7.5.1.3. Fabricația asistată de calculator

Fabricația aistată de calculator (*CAM* - Computer Aided Manufacturing) include toate activitățile legate de executarea și supravegherea procesului de fabricație. Variabilele de intrare cuprind descrierea completă a procesului de fabricație. Rezultanta este produsul realizat în forma finală.

Domeniile de aplicație ale *CAM* includ:

- automatizarea fabricației, inclusiv controlul fabricației;
- manevrarea și deplasarea materialelor;
- supravegherea.

Tendința dominantă actuală în dezvoltarea software pentru *CAM* este realizarea graduală de sisteme integrate bazate pe conceptul *CIM*. Aceasta rezultă din creșterea controlului tehnic asupra sistemelor *CAD/CAM*, răspândirea lor rapidă, ca și necesitatea de a integra aceste sisteme la structurile de conducere și prelucrare a informațiilor în societățile de prelucrare a maselor plastice.

Sistemele *CAM* operaționale necesită două tipuri de date primare:

- date tehnologice și de construcție (planificarea produselor, mecanisme, informații). Pe baza acestor date se compilează documente referitoare la lansarea în producție pe baza fișierelor pentru conducerea producției (cantități, perioada probabilă de

producție, etc.);

- date referitoare la organizarea producției (cuprinse în ordinele de fabricație, necesare de materiale, etc.). Aceste date sunt elaborate pe baza datelor tehnologice și de construcție care permit emiterea ordinelor de fabricație la data stabilită, specificațiile asupra materialului și a echipamentului de fabricație și alte documente.

Dintre soluțiile hardware posibile, promovate pentru implementarea sistemelor automate integrate se pot enumera:

- echipamente de calcul localizat în centrul de calcul cu terminale amplasate la locul de muncă al proiectanților, planificatorilor producției și inginerilor responsabili cu fabricația;
- echipament de calcul localizat la locul de muncă al proiectantului, planificatorului producției și inginerului responsabil cu fabricația;
- echipament de calcul într-o rețea ierarhică;
- rețele de calculatoare.

În planificarea producției, stațiile de lucru sunt utilizate pe scară largă având drept componentă periferică un display grafic sau alfanumeric drept principal instrument de intrare - ieșire. O arhitectură software uniformă este de improtanță deosebită în contextul sporirii eficienței sistemului, mai ales că software-ul aplicației își poate spori calitatea prin adoptarea unor structuri modulare.

Experiența a demonstrat că organizarea de ansamblu a sistemului de producție, precum și interacțiunile dintre componente pentru aplicații individuale necesită sisteme *CAD/CAM* specifice.

7.5.1.4. Sisteme de proiectare asistată de calculator și fabricație asistată de calculator

Sistemul de proiectare asistată de calculator și fabricație asistată de calculator (*CAD/CAM*) acoperă procesele de prelucrare a informațiilor în următoarele domenii:

- proiectare asistată de calculator;
- planificarea asistată de calculator a fabricației;
- automatizarea fabricației.

Sistemele *CAD/CAM* sunt caracterizate prin cuplarea sau integrarea proceselor de prelucrare a informațiilor geometrice, tehnice, tehnologice, economice și organizatorice. Soluțiile *CAD/CAM* diferă de așa-numitele soluții izolate prin posibilitățile pe care ele le oferă pentru integrare. Actualele sisteme *CAD/CAM* disponibile pe piață sunt de obicei proiectate pentru domenii specifice de fabricație. Componentele unui astfel de sistem pot fi, în anumite aplicații, utilizate individual.

La proiectarea de sisteme *CAD/CAM* trebuie avute în vedere următoarele:

- nivelul automatizării care este variabil de la un domeniu la altul sau chiar în interiorul domeniilor;
- dinamica dezvoltării tehnologice;
- diferențieri între standarde și normele utilizate chiar în interiorul aceleiași intreprinderi.

Sistemul *CAD/CAM* lucrează cu bănci de date. Banca de date și sistemul de operare asociat controlează pe termen lung înregistrările de date și asigură gestionarea acestora. Programele de prelucrare a datelor înregistrate și datele de gestiune sunt asigurate de sistemul de gestiune al băncii de date.

7.5.1.5. Sisteme de fabricație integrate cu calculatorul

Sistemul de fabricație integrată cu calculatorul (*CIM* - Computer Integrated Manufacturing) este compus din combinații software-hardware incluzând elemente pentru proiectarea produselor, planificarea și programarea producției, controlul producției feedback, supraveghere și optimizare „din mers", fabricația produselor și elaborarea proceselor tehnologice [18].

În cazul sistemelor *CAD/CAM* apare ca necesară integrarea funcțiilor de proiectare și planificare a producției și, partial sau total, automatizarea proceselor de prelucrare. Pornind de aici, principalele elemente suplimentare în sensul conceptului *CIM* ar putea fi caracterizate astfel:

- un grad de integrare mai înalt, în sensul interconectării totale, a activităților din cadrul sistemului;
- un grad sporit de adaptabilitate și flexibilitate a sistemului, cu realizarea feedback-ului, în toate fazele și secvențele care necesită luarea unei decizii;
- dezvoltarea neîncetată a bazei de cunoștințe a sistemului.

Interconectarea printr-o rețea de comunicații puternică a următoarelor activități mai importante din cadrul sistemului reprezintă o precondiție pentru sistemele de fabricație integrată cu calculatorul *CIM*:

- programarea sortimentului de fabricație (pe baza determinării cererii, tendințelor posibile pe termen lung, a balanței capacităților);
- programarea controlului inventarului și a fluxurilor material din sistem (programarea producției și gestiunea specificației, a manipulării materialelor și semifabricatelor, programarea capacităților de producție);
- asistarea de calculator a prelucrării producției și a fabricației;
- supravegherea și controlul fabricației (programarea pe termen scurt, documentarea, specializarea, emiterea ordinelor de fabricație, etc.);
- înregistrarea și analiza fluxului informațional de stare a sistemului (costuri, flux de materiale, etc.);
- generarea, compilarea datelor referitoare la controlul de calitate;
- colectarea datelor privind vânzările.

În sistemele de fabricație integrate cu calculatorul toate fazele prelucrării și luării deciziilor, începând cu receptarea ordinului de începere a producției sunt controlate cu calculatoarele.

În plus față de sistemele evoluate de tip *CAD/CAM* caracterizate prin fluxuri de date unidirecționale, structurile sistemelor de fabricație integrată cu calculatorul *CIM* includ variate legături de tip feedback.

7.5.1.6. Noțiuni suplimentare

În afară de noțiunile precizate mai sus se mai pot aminti:

- ingineria asistată de calculator (*CAE* - Computer Aided Engineering);
- calitatea asigurată de calculator (*CAQ* - Computer Aided Quality Assurance);
- controlul sistemelor e fabricație flexibile *FMS*.

Tab.7.4. Furnizori de sisteme ansamblu de logică CAE/CAM.

Abreviere	Firma	Tratarea procesului de umplere prin sistem:
BW	Bordgware	Moldflow
CC	Cisigraph	Procop
CD	Control Data	Moldflow
DD	McDonnle Douglas	Moldflow
GC	GE Calma	Moldflow
HK	Hahn & Kold	Cadmold 30
MD	Matra Datavision	Moldflow
SD	S DRC	Moldfiling
PL	Plastics & Computer	TN concept

7.5.2. Sisteme CAD, CAE, CAM în domeniul piesei injectate și a matriței

Proiectanții, constructorii de matrițe și fabricanții de piese injectate din materiale termoplastice au astăzi la dispoziția lor o mare varietate de sisteme *CAE/CAM* (*tab.7.4*). Furnizorii acesor sisteme le descriu ca elemente ale strategiei *CIM*.

Sistemele *CAE/CAM* cuprind diferite module:

- sistemul *CAD-3D* pentru concepția pieselor și generarea geometriilor prin metoda elementelor finite *FEM*;
- programe *CAE* care pot fi utilizate pentru simularea cu calculatorul, de exemplu, a contracțiilor și deformațiilor utilizând sistemul *FEM*;
- anteprocesarea și postprocesarea pentru a genera împletirea *FEM* și reprezentarea grafică a rezultatelor;
- sistemul *CAD-2D* pentru desen (în general asociate cu programele logice standard pentru fabricarea pieselor și matrițelor);
- module pentru simularea procesului de umplere a unei matrițe;
- procesoare pentru control și producție a mașinilor *CNC* (până la 5 axe).

Acest ansamblu complet nu este în general folosit de către utilizatori. Sunt mai multe rațiuni în legătură cu acest fapt. Pe de o parte, domeniile concepției (definirea formei și dimensiunilor piesei), construcția matriței (simularea umplerii, concepția termică și mecanică) și fabricația (programarea mașinilor *NC*) nu sunt încă unicate, ceea ce permite utilizarea independentă a părților distincte ale ansamblului programat. Pe de altă parte, diferiții componenți ai ansamblului, ai programului, nu sunt în general la nivelul de dezvoltare impus. Utilizatorii care doresc un sistem *CAE/CAM* complet trebuie să combine modulele diferite ale acestui ansamblu.

7.5.2.1. Sisteme CAE pentru piesa injectată

În domeniul pieselor injectate se impune problema integrării soluțiilor propuse de sistemele *CAD*, *CAE* și *CAM*. Acest sistem integrat presupune accesibilitatea bună la sistemele *CAD* precum și realizarea pieselor injectate și a matrițelor aferente, tratate din punct de vedere termic, mecanic și reologic [24]. Analiza complexă a piesei injectate face obiectul a diferite sisteme de calcul care determină soluții cu rezultate foarte bune în practică.

7.5.2.1.1. Obiectivele unui sistem CAE

Obiectivele unui sistem *CAE* pentru realizarea unei piese injectate din material termoplastic este prezentată în *fig.7.51*. Din punct de vedere al evoluției pieselor injectate din material termoplastic se pun următoarele probleme: scăderea costurilor, scurtarea timpilor de desfășurare, creșterea calității produselor.

Scăderea costurilor. Proprietățile pieselor din material termoplastic sunt influențate în mare măsură de procesul de fabricație. Încă din faza de prototip se impun cerințe deosebite din punct de vedere al matriței. Acest lucru este valabil în special pentru procedeul de injectare, unde încă din această fază trebuie realizate matrițe apropiate de serie. Costurile unor asemenea matrițe-prototip sunt cu mult mai mari decât a modelelor pentru piesele din tablă.

Experiențele din domeniul matrițelor de injectat au arătat că în special la piesele mari și piesele critice din punct de vedere al curgerii utilizarea programelor reologice, termice și mecanice duce la reducerea costurilor.

Scurtarea timpilor de desfășurare. Timpul necesar pentru realizarea unei matrițe-prototip întârzie producția de serie, însă se remarcă reducerea numărului modificărilor necesare pentru matriță de serie. Se creează astfel timp pentru modificări care nu erau până acum posibile, micșorându-se pericolul rebuturilor calitative.

Creșterea calității produselor. Cu mijloacele software disponibile se pot obține referitor la piesa injectată, nu numai indicații privind comportamentul global ci și antecalculații ale diferitelor caracteristici cum ar fi distribuția de tensiuni sau temperaturi în fiecare punct. Abaterile de la cerințe, spre exemplu de la distribuția omogenă a temperaturii în piesă în timpul răcirii în matriță, pot fi recunoscute la interpretarea rezultatelor de calcul. Prin schimbarea condițiilor limită, pe baza simulării numerice, pot fi împiedicate sau cel puțin minimalizate efectele care la piesa reală ar putea conduce la locuri slabe, ireversibile.

Un concept *CAE* pentru realizarea pe bază de calcul a unei piese injectate presupune luarea în considerare, conform *fig.7.51*, a unor informații exterioare. Prin pregătirea secțiunilor software și hardware trebuie să fie posibilă prelucrarea datelor geometrice provenite din sistemul *CAD* și din coordonatele modelului. Dacă nu se pot obține aceste informații în timpul desfășurării procesului trebuie generate informații geometrice noi. Este necesară pregătirea unor module de calcul precum și date pentru generarea unor programe de calcul. Prin returnarea rezultatului de calcul sistemului *CAD* se poate realiza optimizarea construcției piesei prin buclă interactivă.

Alte informații se referă la materialul termoplastic (tipuri de material, modificări posibile de material). Este necesară o bancă de date de material care să conțină alături de datele noi importante pentru construcție, coeficienții necesari pentru modelele descriptive.

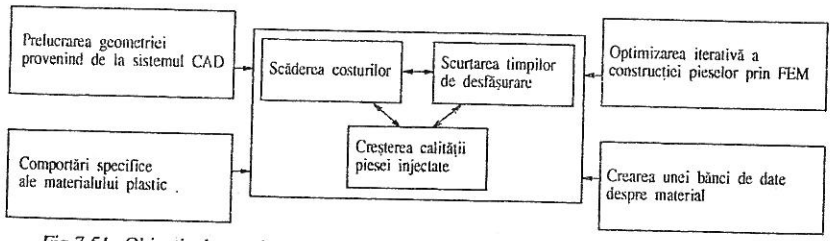


Fig.7.51. Obiectivele unui concept *CAE* la realizarea unei piese din material plastic.

7.5.2.1.2. Generarea şi interpretarea datelor

Una dintre cele mai recente tendinţe în dezvoltarea de sisteme automatizate de tipul *CAD/CAM* este integrarea la o anumită scară între diferitele structuri fizice a o serie de subsisteme cu funcţii de proiectare şi tehnologice în jurul bazei de date care defineşte produsul. Partea principală a acestei baze de date constă în informaţiile care caracterizează forma, structura şi poziţia piesei injectate în spaţiu.

Sisteme, programe, interfeţe. Procesul de creare şi modificare a informaţiilor care caracterizează piesa injectată se numeşte *modelare geometrică* care se realizează printr-o serie de facilităţi software-hardware cunoscute sub numele de *modelator geometric.*

Modelarea geometrică implică două elemente importante:

- sintetizează definiţia analitică a piesei injectate din punct de vedere geometric cu proprietăţile predominante ale acesteia, stocate în memoria calculatorului;
- utilizează toate metodele numerice specifice experimentelor matematice pentru a determina şi a studia alte proprietăţi ale piesei injectate proiectate de calculator într-un proces anterior de fabricaţie.

Majoritatea companiilor reprezentative pe plan internaţional, creatoare de sisteme *CAD/CAM,* furnizează sisteme hardware şi software cu diferite grade de integrare. Sistemul esenţial este baza de date care conţine modelul tridimensional al piesei geometrice şi informaţii despre caracteristicile acesteia. Procesul de modelare geometrică este, în mod normal, iniţiat de către utilizator încă din faza de proiectare, dar se ivesc deseori situaţii în care acestea rezultă în urma reluării unor programe aplicative. Formarea imaginii piesei injectate pentru un echipament grafic şi introducerea sa se realizează prin programe speciale de aplicaţie (*CATIA, STRIM, CD 2000,* etc) (*fig.7.52*).

Sistemele *CAD/NC* utilizează o bancă de date centrală de proiecte (date de firmă) pentru stocarea şi regăsirea desenelor. Această bază de date permite utilizatorilor din sectoarele de proiectare şi fabricaţie să partajeze cantităţile geometrice cât şi cele alfanumerice.

Sistemul *CATIA* (Computer Graphics Aided Three - Dimensional Interactive Application) realizat de Dessault Systems (Franţa) este puternic interactiv, deţinând funcţii evoluate pentru aplicăţii *CAD/CAM* cu elemente geometrice tridimensionale [37]. Sistemul permite construirea şi manipularea directă a obiectelor tridimensionale, obiecte care pot fi definite ca suprafeţe solide sau modele de reţele - cadru. Sistemul *CATIA* poate accepta geometria altor sisteme sau programele utilizatorului prin intermediul aşa zisei interfeţe

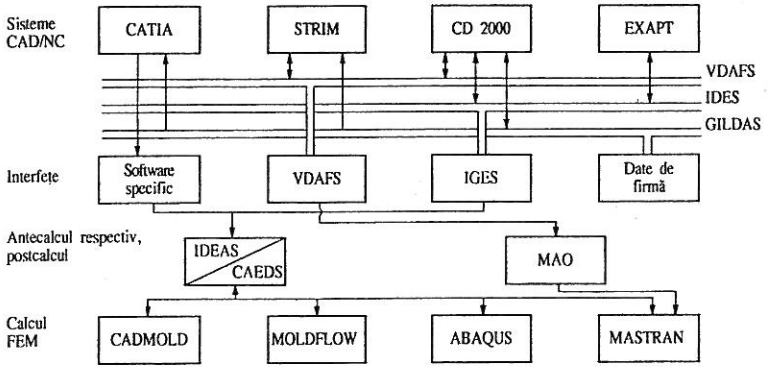


Fig.7.52. Legarea sistemului *CAD* cu sistemul de calcul *FEM.*

geometrice. Un model tridimensional poate fi reprezentat automat ca fiind văzut din orice unghi, asigurându-se şi posibilitatea afişării simultane a mai multor imagini. Funcţia cinematică permite studierea elementelor obiectului în mişcare şi evitarea interferenţelor.

Pentru schimbul de date între sistemele *CAD* se utilizează diferite norme (*IGES, VDAFS, SET,* etc.). Aceste norme sunt indispensabile atunci când trebuie să comunice între ele diferite sisteme generate de constructori diferiţi şi aceasta din raţiuni strategice, economice şi tehnice. Schimbul de date între două sisteme diferite necesită scrierea unui program capabil să citească şi să interpreteze informaţiile conţinute în baza de date a primului sistem şi să scrie aceste informaţii în „dialectul" bazei de date al celui de-al doilea sistem şi invers.

IGES (Initial Graphic Exchange Specification) este în prezent un standard răspândit în lumea întreagă [38]. În plan practic *IGES* se prezintă sub forma unui simplu document care trebuie să fie conţinutul fişierului. Ca cea mai mare parte a sistemelor *CAE, IGES* manipulează entităţi mergând de la cele mai simple (cercuri, linii, puncte, etc.) până la cele mai complexe (substructuri, suprafeţe, etc.). Ele se descompun în trei categorii: entităţi geometrice, adnotaţii (dimensiunile sau comentariile) şi structurile (diferitele moduri în care sistemele *CAD* se combină între ele). Un fişier *IGES* se descompune în diferite secţiuni, luând în considerare descrierea acestor entităţi. În mod general *IGES* tinde să fie un supraansamblu de tipuri de date găsite în sistemele *CAE* de pe piaţă.

Un alt standard este *VDAFS* (Verband Deutsche Automobil) răspândit în rândul constructorilor de automobile germane care are însă puterea de descriere a curbelor şi suprafeţelor insuficientă. Interfaţa *VDAFS* folosită pentru transpunerea de suprafeţe de formă liberă cuprinde următoarele elemente: punct, şir de puncte, şir punct-vector, curbă şi suprafaţă.

Pe piaţă sunt şi alte sisteme *CAD* în care generatoarele de reţea necesate pentru calculul cu elemente finite, programele de pregătire a datelor şi evaluarea rezultatelor sunt cuplate prin interfeţe specifice. O soluţie satisfăcătoare pentru transferul de date între *CAD* şi *FEM* există astăzi în fază incipientă.

Crearea şi pregătirea datelor geometrice. Dacă utilizăm secţiunile *CAD* pentru transpunerea modelelor geometrice, la pregătirea modelelor de calcul avem nevoie de generatorii de reţea. Un model de calcul va fi întotdeauna un model simplificat datorită timpilor optimi de calcul şi volumul minim de date.

Prin capacitatea mult crescută a instalaţiilor de calcul actuale a crescut şi gradul de apropiere a modelului fizic simulat faţă de procesul real. Ca urmare creşte puternic volumul de date obţinut.

În *fig.7.53* este prezentată transpunerea geometrică a unui model de piesă injectată pentru o cafetieră.

Manipularea seriilor de date. Pentru a putea prelucra volumul de date se utilizează sisteme grafice interactive. Cu ajutorul acestora sunt posibile atât generarea (spre exemplu modele geometrice) cât şi interpretarea rezultatelor.

Împărţirea pe domenii este următoarea:

- preprocesarea (pregătirea datelor);
- calculul;
- postprocesarea (evaluarea rezultatelor).

Un mare avantaj îl constituie similitudinea structurii seriilor de date de intrare pentru diferite pachete de calcul *FEM.* Indiferent de condiţiile fizice trebuie realizate formal transformări similare. Software-ul corespunzător care realizează funcţiile necesare poate fi introdus fără cheltuieli mari. În *fig.7.54* este prezentată generarea şi evaluarea datelor de calcul pentru sistemele *CAD/CAE.*

În sprijinul obţinerii geometriei trebuie să existe mijloace ajutătoare cum ar fi mese

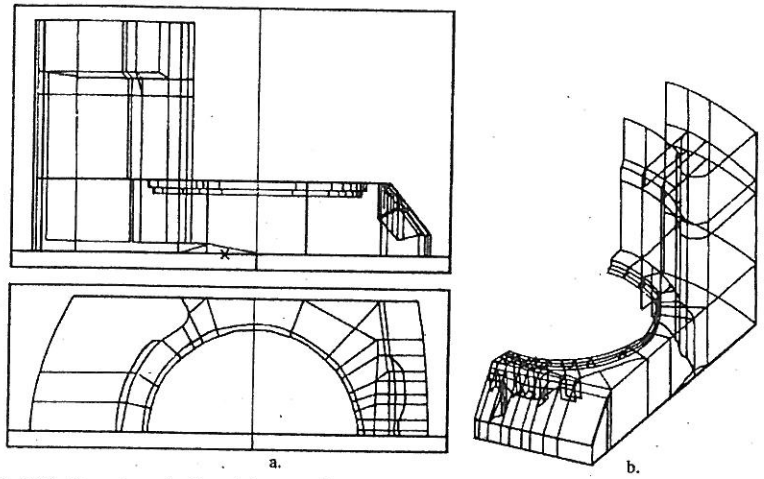


Fig.7.53. Corpul unei piese injectate din material plastic - realizarea modelului geometric: a - în secțiune; b - în perspectivă.

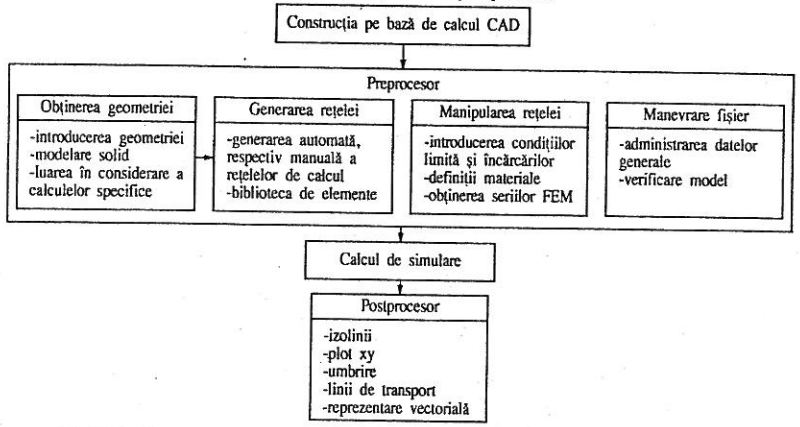


Fig.7.54. Generarea și evaluarea datelor de calcul pentru sistemele *CAD/CAE.*

de digitizare. În afară de aceasta software-ul trebuie să posede un grad înalt de funcționalitate. Având în vedere posibilitățile de reprezentare grafică, următoarele funcții sunt importante:

- prelucrarea grafică a geometriei (manipularea coordonatelor și a elementelor de bază);
- definirea macrodomeniilor (formarea de grupe geometrice);
- transformări geometrice (rotație, translație, reglarea punctelor de fugă, perspectivă);
- tehnica liniei ascunse (iluminarea liniilor ascunse);
- umbrirea cu surse luminoase variabile, clarificarea prin reprezentarea cu umbre;
- definirea de vizoare cu iluminare simultană a tuturor elementelor geometrice;
- reglarea selectivă a luminozității punctelor de ecran singulare pentru o îmbunătățire a preciziei reprezentării;
- ajustarea selectivă a intensității luminozității ecranului pentru a obține efectul de adâncire.

Generarea unei rețele FEM. În preprocesare este foarte importantă generarea rețelei, ceea ce înseamnă reducția prin *FEM* a modelului geometric și divizarea modelului de calcul în elemente finite. În cazul structurilor bidimensionale se pot obține rezultate bune, dar în cazul structurilor tridimensionale cresc dorințele generării rețelei prin software. La modelele mai complicate, obținerea rețelei *FEM* poate dura zeci de ore până la sute de ore.

Alături de generarea rețelei e importantă pregătirea unei biblioteci cuprinzătoare de elemente care să permită funcție de utilizare și tipul programului *FEM.*

Manipularea rețelei introduce în model condițiile limită și încărcările din exterior. Alăturat trebuie definite tipurile de materiale și coeficienții importanți pentru funcțiile descriptive interne. În final poate fi obținută seria de date *FEM.* Manipulatorul de fișier preia administrarea datelor din memoria de material. Sunt foarte importante posibilitățile de control model:

- marginile libere inadministrabile se verifică (împrăștierea elementelor);
- asigurarea împotriva distorsionărilor maxim admise (datorate calculului *FEM).*

În postprocesare se dispun în formă grafică mărimile rezultate sub formă numerică de calcul.

În *fig.7.55* este prezentată în formă grafică modelul de calcul al unei piese injectate pentru o piesă injectată.

7.5.2.1.3. Calculul

Reprezentarea numerică în domeniul injectării maselor plastice se poate referi la piesa injectată, matriță, respectiv procedeul de fabricație.

Pornind de la model, piesa injectată trebuie transpusă constructiv. Între matriță și piesa injectată se creează efecte puternice de inversare. Spre exemplu, dacă crește grosimea de perete a unei piese injectate, aceasta influențează direct timpul de răcire în matriță, respectiv durata ciclului de injectare. Micșorarea grosimii de perete, în ideea optimizării timpului de răcire, poate duce la probleme de curgere în matriță. Reprezentarea numerică pentru piesa injectată poate fi: reologică, termică și mecanică.

Pe piață există diferite sisteme de calcul. Alături de sistemele *FEM* de înalt nivel (Ansys, Abaqus, Nastran, etc.) care oferă modalități confortabile de calcul termic și mecanic, au fost create programe specializate pe probleme de mase plastice care au obținut rezultate deosebite. Ofertanții de sisteme *CAD* avansate (IBM, CDC, General Electric, etc.) integrează astfel de programe într-un concept *CAE.*

Un astfel de sistem de calcul are mai multe cerințe, însă unele dintre ele nu vor fi rezolvate decât în viitor (*fig.7.56*).

Se cer două lucruri fundamentale de la un astfel de sistem de calcul:

- sistemul să fie deschis pentru dezvoltări viitoare;
- sistemele rezultate trebuie lărgite.

Posibilitățile și procedeele de calcul ale pieselor din material plastic la nivelul actual al tehnicii vor fi prezentate în cele ce urmează.

Reprezentarea reologică. Modulele de program *CAD* pentru simularea umplerii matriței se pot explica în detaliu. În aceste module procesul de umplere este tratat de către calculator prin metoda elementelor finite *FEM.* Tratarea informatică este bazată pe două tipuri de programe: programe 2D și programe 3D. Programele 2D se bazează pe tratarea fluxului de curgere în două dimensiuni în relație cu grosimea peretelui.

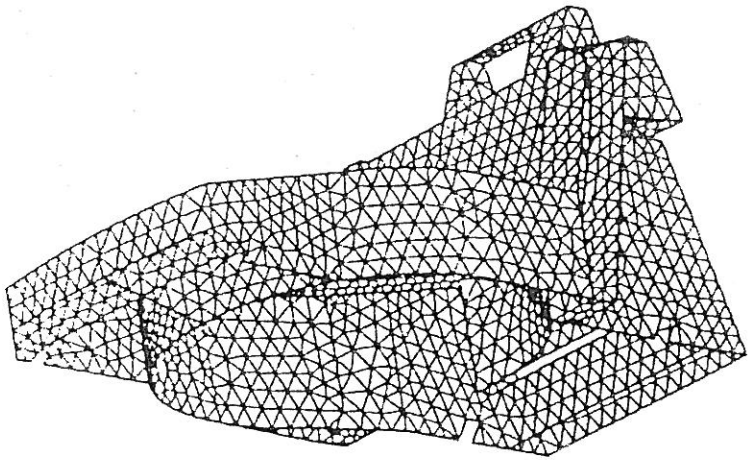


Fig.7.55. Folosirea elementelor finite la generarea suprafeței exterioare la o piesă injectată.

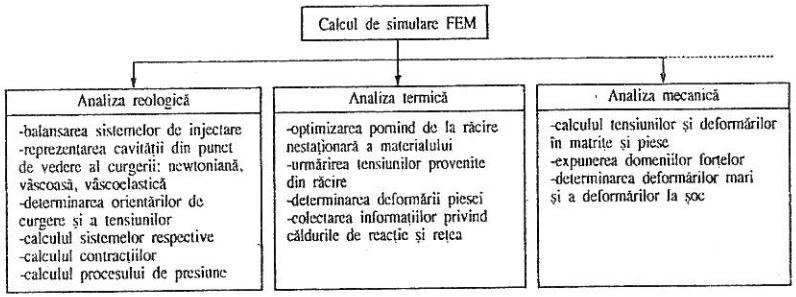


Fig.7.56. Cerințe ale sistemului de calcul posibil în viitor.

Dacă geometria pentru simularea umplerii este creată cu module *CAD* ea nu poate fi utilizată direct, ci numai într-un mod simplificat plecând de la o geometrie pregătită anterior pentru crearea desenului și analiza mecanică a matriței. Pentru tratarea *FEM*, matrița trebuie să fie reprezentată în cochilie. Această cochilie este fața centrală (jumătatea grosimii peretelui plecând de la suprafața piesei). După crearea rețelei de elemente finite, se atribuie o grosime de perete la cochilie element cu element. În plus, cu această geometrie pentru crearea rețelei *FE*, alte simplificări sunt necesare, diferite părți ale geometriei umplerii, precum curbele exterioare sau interioare, fiind dificile să fie reprezentate prin rețea.

Importanta putere informatică impusă prin tratarea *FE* (perioada de tratare, capacitate de memorizare) duce în mod egal la o simplificare a geometriei de bază care suportă tratamentul. Încă nu există un procedeu care să dezvolte această geometrie specială direct plecând de la *CAD*. Rețeaua de elemente finite poate în principiu să fie utilizată pentru conceperea pieselor injectate (calculul tensiunilor și contracțiilor) și pentru simularea umplerii matriței. Există totuși diferențe în structura rețelei necesare multiplelor puncte precise ale suprafeței rețelei, desăvârșirea rețelei trebuind efectuată în locurile critice ale piesei injectate. Se poate vedea deci că ideea utilizării în producție a datelor generate prealabil prin *CAD*, nu este așa de simplă.

Programele 3D pot fi împărțite în două grupe. În prima grupă, procesul de umplere este înregistrat prin integrarea grosimii pereților (Cadmould 3D, Mefisto, Moldflow 3D, MFL 4). În a doua grupă grosimea peretelui este divizată în straturi individuale și valorile punctate ale temperaturii, vitezei, etc., sunt determinate pentru fiecare strat (Cadmould 3D, Mefisto, Moldflow 3D MFLP, Mold Filling, Procop, TM Concept). Aceste programe pot de asemenea să înregistreze secțiunile transversale ale fluxului liber, care schimbându-se în timpul procesului de umplere în funcție de răcirea matriței și ca urmare a încălzirii amestecului rezultat din încălzirea prin fricțiune localizată și în funcție de timp. Etapa următoare la înregistrarea procesului complet a fluxului este studiul fazei de menținere a presiunii (Cadmould 3D Mehold). Aici presiunea, temperaturile și vitezele depind de timp și de gradul de eficacitate a menținerii presiunii, în așa fel încât secțiunile transversale libere și valorile de contracție sunt determinate în toate punctele piesei injectate. Se pot trage astfel concluzii calitative asupra punctelor de curgere și tendințelor de deformare a pieselor injectate.

La toate metodele de calcul se pot obține condiții geometrice simple pentru realizarea imaginii umplerii [24, 25]. Se crează astfel un procedeu grafic numit *metoda de vizualizare a umplerii* care ne arată evoluția topiturii în timp. Procedeul de vizualizare a umplerii la o piesă injectată este reprezentat în *fig.7.57.* Cu ajutorul metodei de vizualizare a umplerii se pot prevedea surprinzător de precis poziția sudurilor (puncte de rezistență mecanică slabă, defecte optice) și incluziuni de aer (arsuri).

Reprezentarea termică. Pentru reprezentarea termică a pieselor injectate din material termoplastic nu există încă soluții de calcul satisfăcătoare. Indicații utile pentru practică în domeniul tensiunilor rezultate în urma răcirii precum și deformațiile aferente au putut fi deduse doar calitativ din alte calcule.

Primele informații se referă la reprezentarea matrițelor. Transferurile de căldură bidimensională respectiv tridimensională din matriță și din piesă nu pot fi descrise. Din aceste considerente, în care e necesară o reprezentare termică, se apelează la sisteme *FEM* (Abaqus, Nastran). Aceste programe nu iau în considerare însă rapoartele existente între transferurile de căldură și geometria piesei injectate.

Un program de calcul *FEM* de reprezentare termică trebuie să îndeplinească următoarele

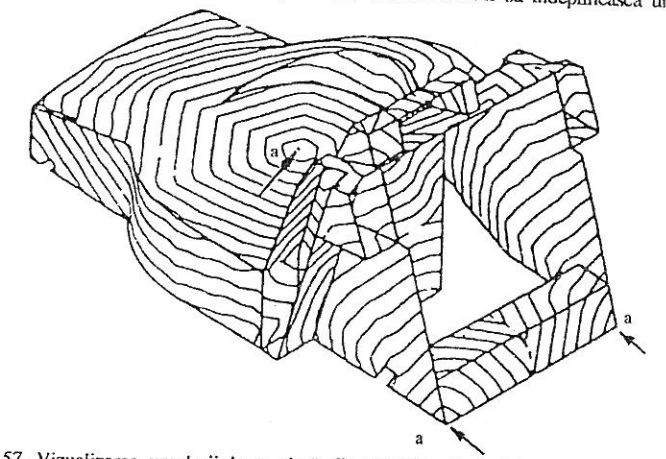


Fig.7.57. Vizualizarea umplerii la o piesă din material plastic injectată în trei puncte:
a - punct de umplere.

condiții:

- trebuie să cuprindă cel puțin conducție termică bidimensională nestaționară;
- trebuie să fie luate în considerare conductibilitățile diferite ale oțelului și materialului plastic;
- rapoartele geometrice să poată să fie calculate prin utilizarea de elemente de calcul specifice;
- trebuie să poată fi cuprinse diferite rapoarte de transfer de căldură. Ca mecanisme de bază ale transferului de căldură se consideră conducția, convecția și radiația, adesea cuplate;
- dependențele datelor termice ale materialului plastic în raport cu temperatura să poată fi descrise;
- trebuie să poată fi luate în considerare condițiile diferite de început de proces (matriță rece, material cald, etc.).

Reprezentarea mecanică. Pentru calculul mecanic sunt specifice aceleași îngrădiri prezente la reprezentarea termică.

La reprezentarea mecanică a pieselor injectate din material plastic trebuie să se țină seama de comportarea deosebită a materialului plastic. Deformarea unei piese injectate nu e determinată doar de mărimea sarcinii exterioare ci depinde în mare măsură de evoluția încărcării, temperatura inițială și evoluția acestei temperaturi. Asupra piesei injectate acționează și mediul înconjurător cu influențe asupra structurii chimice, ceea ce influențează comportarea la rezistență mecanică.

Există programe de reprezentare mecanică a pieselor injectate (Abaqus, Nostran) care dau rezultate bune.

Cele mai mari dificultăți de calcul al comportării mecanice a pieselor injectare se consideră momentan solicitarea la șoc.

7.5.2.1.4. Date de material

Pornind de la domeniile mari de utilizare posibilă a pieselor injectate există o mulțime de materiale termoplastice care pot fi luate în considerare (capitolul 1). Prin modificări ale materialelor de bază s-a încercat obținerea de materiale speciale.

Pentru a asigura o manipulare rapidă a datelor de material necesare calculul este necesar a se asigura o bancă de date.

Pentru aceasta trebuie îndeplinite două cerințe de bază:

- manipularea trebuie să aibă loc confortabil (utilizatorul să poată găsi și manipula direct date, desfășurarea fucnțională să poată fi pregătită și sub formă grafică);
- banca de date trebuie să fie accesibilă pentru toate secțiunile programului de calcul. Modelele numerice de material pot fi date prin coeficienți în cadrul calculul.

7.5.2.2. Sisteme CAE în concepția matriței

Scopul principal urmărit la utilizarea sistemului *CAE* este reducerea costurilor la fabricarea pieselor injectate. Pe lângă utilizarea sistemului *CAE/CAD* la conceperea pieselor injectate, acesta este folosit în aceeași măsură la conceperea matrițelor injectate [27...34].

Obiectivele sistemului *CAE*, generarea și interpretarea datelor, problemele de calcul tratate pentru piesa injectată în cap.7.5.2.1 au problematica comună cu cap.7.5.2.2 care tratează matrița de injectat. Se va insista pe elementele specifice acestui capitol

asupra sistemului de calcul.

Pentru a soluționa problema dimensionării unei matrițe de injectat cu ajutorul calculatorului se apelează la diferite sisteme de calcul (*Cadmould, Moldflow, TM Concept, Procop*).

Fazele de construcție ale unei matrițe sunt prezentate în *fig.7.58.* Matrițele sunt concepute după criteriul parametrilor ideali de prelucrare în faza de umplere și în cea a procesului de injectare [27]. Din punct de vedere al dimensionării, concepția matriței se divide în trei grupe: concepția reologică, concepția termică și concepția mecanică.

Concepția reologică. În capitolul anterior s-a studiat procedeul de vizualizare a umplerii la o piesă injectată ca urmare a fenomenelor de curgere a materialului plastic în matriță. Pornind de la imaginea umplerii, o simulare a comportamentului frontului de umplere, se pot calcula necesarul de presiune de injectare, evoluția temperaturii materialului pe parcursul de curgere, viteza de forfecare și tensiunile care iau naștere cu această ocazie. Valorile sunt calculate și funcție de timp și de loc. Modificări ale temperaturii și ale tensiunilor de forfecare se pot recunoaște clar și pot fi modificate prin variația condițiilor de prelucrare: timp de umplere, temperatura materialului și temperatura peretelui matriței. Prin aceasta comportamentul în producție a unei matrițe poate fi recunoscut încă din faza de prelucrare.

Programul de calcul reologic (*Moldflow, Cadmould*) presupune și următoarele:

- calculul drumurilor maxime de curgere;
- calculul diametrelor optime ale canalelor de curgere (matrițe cu cuiburi multiple combinate cu sisteme cu canale încălzite);
- calculul complet prin sistem *FEM - 3D* al sistemului de injectare.

Procesul de umplere complet al matriței este tratat în calculator prin metoda elementelor finite *FEM.*

Pentru introducerea geometriei și reprezentarea rezultatelor se necesită un program de intrare-ieșire. Această funcție este rezolvată de programe de calcul speciale (*CATIA, STRIM*).

Concepția termică. Următorul pas important în concepția matriței de injectare este calculul proceselor termice din matriță.

Sistemul de temperare al matriței are o influență determinantă asupra duratei ciclului de injectare și prin aceasta a costurilor piesei injectate. De asemenea, o temperare neomogenă a matriței determină o răcire neuniformă a reperului și prin aceasta pierderi calitative prin tensiuni interne și deformări ale piesei injectate.

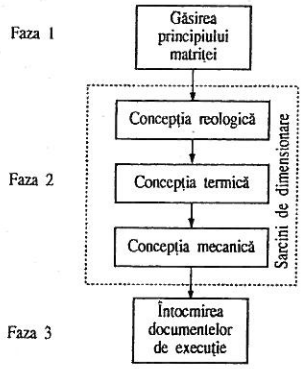


Fig.7.58. Fazele construcției unei matrițe de injectat.

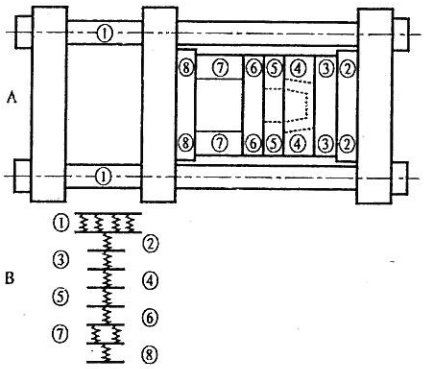


Fig.7.59. Schema modelului cu arcuri la concepția mecanică a matriței de injectat.

Programele de calcul pentru concepția termică a matriței calculează schimbul de căldură a matriței cu mediul, influența izolațiilor matriței, debitul mediului de răcire, poziția și diametrul canalelor de temperare, pierderea de presiune în sistemul de temperare precum și timpul necesar de răcire.

La concepția termică a matriței se respeçtă următorii pași de calcul:

- calculul timpului de răcire;
- bilanțul termic al matriței;
- debitul mediu de temperare;
- diametrele canalelor de temperare;
- poziția canalelor de temperare;
- calculul pierderii de presiune în circuitul de temperare.

Concepția mecanică. A treia componentă de bază a unei proiectări de succes a matriței cu ajutorul calculatorului este dimensionarea mecanică.

Matrițele de injectat sunt supuse forțelor exercitate de materialul plastic din cuib și forței de închidere a mașinii. Sub acțiunea acestor forțe, matrița se deformează. Calculele făcute matriței de injectat servesc la optimizarea dimensională. Dimensionarea mecanică are la bază mai multe programe de calcul cu elemente finite (*Antras*, *Ansys*, etc.).

Pentru calculul deformării matriței de injectare (soluția statică) a problemei există următoarele variante:

- programul de calcul *2D*;
- programul de calcul *3D*;
- măsurători în matriță. Se urmărește pe de o parte evitarea unor costuri prea ridicate prin supradimensionare, iar pe de altă parte evitarea unor costuri ulterioare datorate unor zone slabe.

Programele *Cadmould* pentru concepție mecanică efectuează calcule pentru:

- deformarea matriței dacă se dau sarcinile și dimensiunile;
- dimensiunile necesare ale unor elemente de matriță dacă se indică sarcinile și deformarea admisă;
- deformarea întregii matrițe dacă se indică sarcinile și dimensiunile printr-un procedeu de suprapunere;
- deformarea admisă a unor repere ale matriței, în ansamblul matriței, dacă se indică deformarea totală admisă.

Programele pentru concepția mecanică a matriței execută calcule de rezistență după o metodă analitică simplificată. Deoarece elementele de matriță au voie să se deformeze numai în domeniul lui Hook, calculul se poate efectua considerând ansamblul matriței un model de înlocuire cu arcuri (*fig.7.59*).

Procedeu de calcul. La concepția unei matrițe se pot folosi diferite sisteme de calcul. În cele ce urmează se prezintă programul de calcul *Cadmould-Mefisto* care se poate împărți în patru capitole conform *fig.7.60.*

Pentru simularea procesului de umplere trebuie transmis programului de calcul prima dată forma reperului prezentată ca o rețea geometrică de intrare. Pentru aceasta se execută un model *3D* a reperului și la nevoie a rețelei de injectare în sistemul *CAD-CATIA*. Cu ajutorul unui generator semiautomat de rețele se produce rețeaua de elemente și se introduce într-o rețea geometrică.

La începutul calculației propriu-zise se introduc elementele de programare tehnologică ca: parametrii de proces, materia primă, grosimea de perete programată și tipul de dig. Ca urmare a sistemului de calcul *Cadmould-Mefisto* se obține fișierul unei imagini de umplere, fișierul temperaturii și fișierul tensiunilor de forfecare. Pentru o mai bună reprezentare, printr-un postprocesor, rezultatele se pot prezenta ca imagini tridimensionale

în modelul geometric al piesei injectate putând fi manipulate ca modele normale *CAD*.

După aprecierea tehnologului de proces se încep variantele de optimizare prin care se înțelege variația parametrilor de proces și modificarea grosimii sau formei piesei injectate. După fiecare modificare a datelor introduse se pornește un nou program de calcul și se procedează cu rezultatele ca mai sus. Procedeul se repetă până la obținerea gradului de optimizare dorit. Criteriile după care se face optimizarea sunt: poziția și natura liniilor de sudură, incluziunile de aer, modificări nepermise ale temperaturii masei sau evoluției de presiune pe parcursul de curgere precum și vitezei de forfecare sau tensiunii de forfecare neadmise.

Ca rezultat al calculului se obțin parametrii de proces calculați, o piesă injectată optimizată din punct de vedere al procesului tehnologic și cu loc de injectare optimizat din punct de vedere al poziției și formei.

Cu ajutorul unor programe suplimentare se pot calcula:

- volumul și greutatea piesei optimizate;
- forța necesară de închidere mecanică a mașinii;
- dimensionarea elementelor mecanice ale matriței dacă se introduc sarcinile și deformarea admisă.

Scopul calculului este proiectarea unei matrițe de injectat (*fig.7.61*).

7.5.2.3. Sisteme CAD/CAM la realizarea matriței

Sistemul de proiectare asistată de calculator și fabricația asistată de calculator *CAD/CAM* în domeniul matrițelor de injectat s-a dezvoltat foarte mult în ultimii ani [29...33].

Pentru folosirea sistemului *CAD/CAM* se stabilesc următoarele scopuri:

- la dezvoltarea piesei de la idee la construcție trebuie să se economisească timp;
- în construcția matriței se părăsește munca de rutină și se trece la sistemul

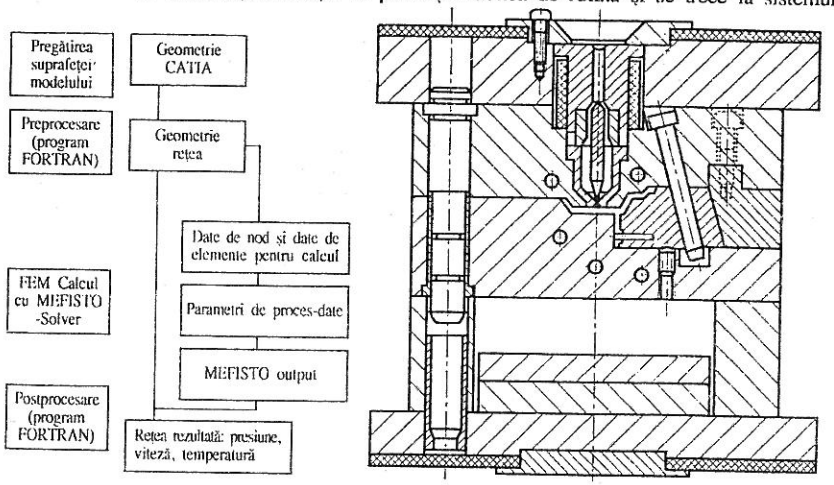


Fig.7.60. Concepția unei matrițe prin programul de calcul *Cadmould-Mefisto.*

Fig.7.61. Matriță de injectat proiectată cu ajutorul calculatorului.

de construcție raționalizat;

- prin sistemul *CAE* se obțin piese injectate și matrițe optime astfel încât calitatea produsului crește.

Sistemele *CAD/CAM* au evoluat ajungându-se astăzi la sisteme integrate (*fig.7.62*). Un astfel de sistem integrat este un sistem multimodular care se bazează pe sisteme numerice de calcul *NC* care fac legătura între construcția matriței, programarea fabricației și fabricația cu *NC* pe mașini moderne de prelucrat matrițe. Circuitul de date în procesul de calcul la un astfel de sistem este prezentat în *fig.7.63*.

7.5.2.3.1. Proiectarea matrițelor cu ajutorul calculatorului folosind elemente normalizate

Folosirea elementelor normalizate în construirea unei matrițe prin sistem *CAD* a fost posibilă ca urmare a preocupării firmelor producătoare de a prezenta norme cât mai complete de elemente de matrițe.

Firmele *Hasco* și *Strack* sunt singurii fabricanți a căror cataloage propun norme de matriță sub formă de programe compatibile cu o serie de sisteme *CAD* diferite.

Programul logic al firmei *Strack* este caracterizat printr-un timp de acces scurt deși baza de date conține 20.000 matrițe complete și 30.000 de piese distincte. Datorită unei gestionări speciale a datelor este necesară o memorie puțin importantă de aproximativ 3,8 MB. O caracteristică specifică a acestui program este că permite accesul la ansamble complete de matrițe. Dacă utilizatorul schimbă grosimea plăcii programul schimbă automat piesele accesorii care se utilizează. Aceasta se aplică de asemenea când diferite grosimi de plăci cuprinse în catalog sunt specificate de operator.

Norma *Hasco* folosește deja a patra versiune de programe catalog de norme. Cu acest sistem funcționarea desenului este simplificată și prezentată interactiv direct, plecând de la sistemul *CAD* folosit.

Alte norme produse de diferite firme (*2 H-Norma, DME-Norma*) sunt astăzi compatibile numai parțial cu diferite sisteme de proiectare (*CATIA, Procad, Meduza*, etc.).

Alte firme propun elemente normalizate în domeniul sistemelor de injectare cu canale încălzite. Astfel firma *Ewikon* propune sistemele cu canale calde sub formă de programe de normalizare. Proiectantul este sprijinit în munca de concepție atunci când introduce un sistem de injectare cu canal încălzit.

Mold-Masters Ltd. furnizează sistemele cu canale încălzite sub forma unor programe

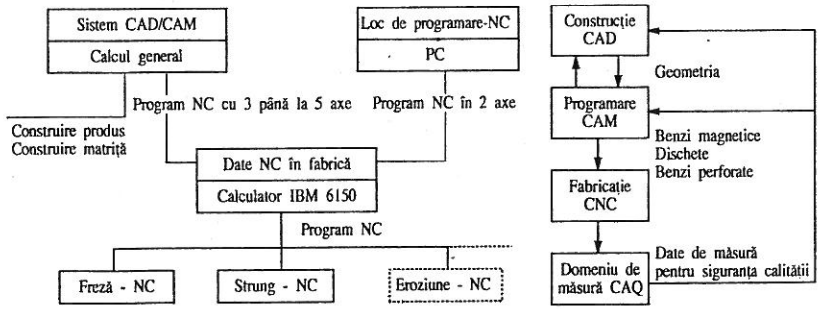


Fig.7.62. Sisteme integrate *CAD/CAM* la realizarea unei matrițe.

Fig.7.63. Circuitul de date în procesul de realizare a unei matrițe.

catalog de norme sub numele de *Ecat* (Electronic Catalog). Catalogul este compatibil cu toate sistemele *CAD* care pot folosi interfața *IGES*.

7.5.2.3.2. Fabricația matriței cu ajutorul calculatorului

Sistemul *CAM* include toate activitățile legate de executarea și supravegherea procesului de fabricație a matriței de injectat.

Sistemul *CAM* în fabricația de matrițe se referă la:

- automatizarea fabricației;
- controlul fabricației;
- manevrarea și deplasarea sculelor și materialelor;
- supravegherea fabricației.

Construcția cu ajutorul calculatorului. Dorința de simplificare și flexibilitate în domeniul construcției de matrițe necesită prelucrarea de proceduri standard și rutine automate în sistemul *CAD* [31].

Construcția și prelucrarea suprafețelor neregulate de matriță sunt greu de realizat fără intervenția calculatorului. Prin folosirea unor software moderne construcția tridimensională a devenit accesibilă. Produse speciale complexe pot fi privite din unghiul dorit, rotite, reflectate și secționate. În plus apar numeroase facilități de construcție, de exemplu: legarea suprafețelor prin punți tangențiale, obținerea suprafețelor prin funcții matematice, rotunjiri cu rază constantă sau variabilă (*fig.7.64*). Printr-o definire geometrică exactă constructorul își face o imagine clară asupra construcției matriței încă din faza de început.

Utilizarea normelor standard a elementelor de matriță simplifică considerabil construcția matriței (*Hasco, DME, Strack*).

Modul de deservire și confortul sistemului *CAD* sunt diferențiate: creionul luminos, mouse-ul, tastatura, joystick-ul, precum și combinațiile acestora.

Modul de lucru în domeniul *CAM* solicită la programarea *NC* un înalt nivel de cunoștințe de fabricație. Oricare ar fi nivelul automatizării nici un modul *CAM* nu exprimă situația tehnică a fabricației.

Cantitățile limită ca: materiale, situația prinderii, alegerea sculelor, toleranțele de fabricație, parametrii de așchiere sunt date care premerg programării. Programatorul *NC* trebuie să definească fiecare pas de lucru și să stabilească prelucrarea eficientă a geometriei, făcând legătura dintre tehnica de fabricație practică și programarea *NC*.

Pentru a nu fi nevoie să se renunțe la valorile practicate proprii, majoritatea modulelor *CAM* permit înființarea unui fișier propriu de date tehnologice. Unele sisteme oferă facilități pentru cicluri automate, de exemplu: strunjirea de degroșare sau optimizarea sculei și a cursei sculei. Simulările grafice oferă posibilitatea controlului drumurilor parcurse și a coliziunilor.

Sisteme de programare NC. Alături de sistemele integrate *CAD/CAM* există o serie de sisteme de programare *NC* de sine stătătoare. Ele permit atât obținerea noilor geometrii de piese, cât și prelucrarea datelor geometrice din sistemele *CAD*. Pentru utilizări simple, aceste sisteme pot genera, în dialog sprijinit grafic, un program de prelucrare *NC*.

Sistemul de programare *2 1/2 D-NC Maho Form* conține o bancă de date de scule și date tehnologice. Lucrul de programare se sprijină pe funcții pentru presare, strunjire de degroșare și găurire, precum și pentru realizarea optimizării curselor sculelor și a schimbării sculelor. Ca opțiune sunt posibile programele *3D*, precum și programarea operațiilor de strunjire, electroeroziune cu fir și gravare.

Pentru obținerea conturului și generarea de programe *NC* se folosesc blocuri

funcționale tipizate *CIM* ale firmei *Hahn & Kolb*. Prin folosirea unor interfețe specifice pot fi prelucrate și date geometrice ale unor sisteme *CAD* străine.

Pentru a accelera lucrul utilizatorul însuși poate realiza reprezentări *CAD* ale celor mai utilizate elemente constructive și variante de program pentru familii de piese. Succesiunea cursei sculei și divizarea prin pași spre exemplu la freze mici se poate obține automat.

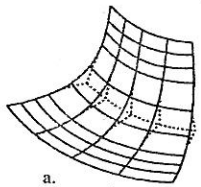
Sistemele *CAM* au structuri modulare. Alături de modulele de bază există și module de aplicație dependente de procedeu: frezare, rectificare în coordonate și rectificare profile, strunjire și tăiere laser. Actualmente sunt disponibile sute de postprocesoare care îndeplinesc toate comenzile curente. Prin *modulul orbit DNC* pot fi aprovizionate prin programe *NC*, în pași, câte 32 de mașini unelte din rețeaua de fabricație.

Programul *Software Microcam* este un sistem de programare *NC* și un sistem *DNC* pe bază de *PC* prin care pot fi obținute atât construcții noi cât și date *CAD* prin normele *IGES* sau *DXF* sau direct prin formatul binar. Acest echipament, potrivit pentru intreprinderile mici și mijlocii poate executa comenzile numerice curente.

Fabricația prin folosirea calculatorului. Câteva cercetări în domeniul sculelor de prelucrat tablă au arătat cum pot fi modificate sistemele *CAD/CAM* pentru cazuri speciale.

Dezvoltări speciale similare sunt posibile și la fabricarea matrițelor pentru injectarea materialelor plastice care se realizează în sisteme *CAD/CAE* cu programe de expunere reologică a matrițelor. Dorința de a folosi subansamble tipizate nu numai la mașini dar și la matrițe a stat în preocuparea multor firme [31].

În construcția de matrițe, datorită infuziei de noi tehnologii, se utilizează în permanență optimizarea. Un exemplu în acest sens este frezarre *NC* după 5 axe. Pe lângă timpul de prelucrare mai redus a unei matrițe, se obține prin aceasta și o precizie mai ridicată. Comparativ cu frezarea *NC* după 3 axe, prelucrarea după 5 axe a suprafețelor de formă neregulată se face cu un număr mai mic de treceri de frezare, la o calitate mai bună a suprafețelor (*fig.7.65*). Programele *NC* pentru 5 axe pretind, datorită aparatului matematic complex, un volum mare de calcul, la viteză de prelucrare corespunzătoare. Acest lucru nu poate fi rezolvat mulțumitor decât cu ajutorul unor calculatoare mari. Programele de frezare complicate și de durată pot fi rulate cu ajutorul acestor calculatoare și în cursul nopții.



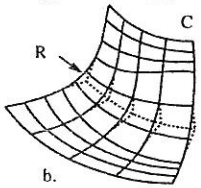
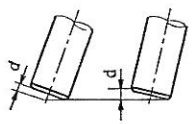
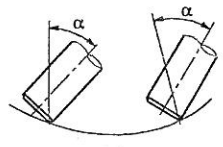
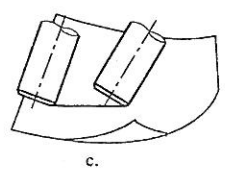


Fig.7.64. Legarea suprafețelor libere:
a - constante; b - variabile;
A - direcția avansului;
R - raze.







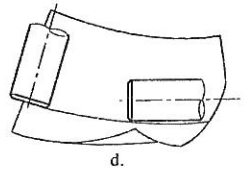


Fig.7.65. Geometria frezării la frezarea cu 5 axe cu freză frontală:
a - distanța *d* constantă; b - unghiul α constant;
c - contact maxim sculă - piesă;
d - prelucrare *NC* prin rulare (prelucrare în flanc).

Programele productive calculează alături de traiectoria de frezare, coliziunea și unghiul de înclinare a frezei. Pentru fiecare punct al traiectoriei este calculat unghiul de basculare necesar, astfel încât unghiul de așezare a frezei să se adapteze profilului suprafețelor (*fig.7.65*). Aceasta certifică faptul că nici un punct de pe suprafața frezei nu se ciocnește cu suprafața presei. În plus, se înlătură o finisare de suprafață în direcția de frezare. Durata de calcul pentru aceste operații se poate reduce simțitor cu programe la care procesorul, care prelucrează direct definițiile matematice ale suprafețelor, calculează doar atâtea puncte și vectori cât sunt necesari pentru fiecare caz de prelucrare în parte.

Datorită volumului mare de date este indicată transpunerea datelor pentru mașinile de frezat după 5 axe în sistemul de funcționare *DNC*. Acest sistem asigură o transpunere de date rapidă și sigură. În funcție de situația de prelucrare se alege varianta cea mai favorabilă între prelucrarea după 3 axe și cea după 5 axe. De regulă însă acestea sunt combinate.

Alegerea frezării după 5 axe este dependentă de eforturile de programare și geometria de prelucrat. Tehnica de fabricație este un factor hotărâtor pentru micșorarea duratei de rulare. La matrițele cu geometrie simplă a cavității frezarea după 5 axe este neeconomică, în timp ce pentru suprafețele neregulate este recomandabilă. Avantajul principal al frezării după 5 axe este adaptarea bună la controlul suprafețelor. Acest lucru are drept urmare faptul că la degroșare și finisare se poate prelucra cu diametre mari ale capetelor portfreză și lățimi mai mari ale curselor de prelucrare. De asemenea, volumul prelucrărilor ulterioare este mult mai mic.

La prelucrarea după 5 axe a suprafețelor concave cu freze frontale pot apărea probleme la controlul coliziunii. Unele sisteme *CAD/CAM* consideră la simularea prelucrării doar mijlocul frezei cu coadă. Prin adăugarea unei freze profilate cu coadă această problemă poate fi evitată însă cu prețul unui proces de fabricație mult încetinit care pune sub semnul întrebării utilizarea tehnicii de prelucrare după 5 axe.

Frezarea *NC* după 5 axe are, după experiența utilizatorilor, următoarele avantaje:

- prelucrarea mai precisă comparativ cu frezele de copiat după model;
- calitatea mai bună a suprafețelor reduce durata de finisare și prelucrările ulterioare ale matrițerului;
- reducerea duratei de frezare prin reducerea trecerilor de frezare și randamentele mai ridicate ale mașinilor moderne *NC*;
- orice domeniu de prelucrare a matrițelor de injectat poate fi abordat.

Față în față cu aceste avantaje stau cheltuielile, investiția de capital pentru calculator, aparate periferice, programe și mașini unelte. Conform datelor utilizatorilor din construcția de matrițe, raportul dintre timpul de programare și timpul de frezare se situează în prezent între 2:1...3:1 [31].

7.5.3. Sisteme de fabricație integrate cu calculatorul în procesul de injectare

În comparație cu alte tehnologii, în industria prelucrătoare de mase plastice și supravegherea producției asistată de calculator *CIM* (Computer Integrated Manufacturing) reprezintă un element relativ important. Primele sisteme au fost introduse prima dată în intreprinderile cu mașini de injectat.

7.5.3.1. Cerinţe ale CIM într-o societate de injectat materiale plastice

Toţi prelucrătorii prin injectare sunt obligaţi de piaţă să producă piese injectate de calitate superioară şi cu costuri cât mai reduse. În acest scop este necesară automatizarea fabricaţiei. Prelucrătorilor prin injectare a materialelor plastice le stau la dispoziţie o întreagă gamă de soluţii pentru sporirea productivităţii muncii [19, 22]:

- maşini moderne de injectat cu microprocesoare, cu sisteme de reglare şi comandă automată care înlocuiesc maşinile clasice. Automatizarea maşinii face ca maşina să realizeze reproductibilitatea parametrilor. În sistemul *CIM* reproductibilitatea calităţii produsului este un factor de bază;
- unităţi automate de schimbare a matriţei comandate pe cât este posibil de microprocesorul maşinii;
- aparatele de manipulare dau posibilitatea unor soluţii complete de sistem (separarea culeei, prelucrarea piesei prin găurire, stivuirea şi ambalarea pieselor, etc.). Aceşti roboţi pot fi cu comandă proprie sau comanda poate fi integrată microprocesorului;
- sisteme de cuprindere a datelor întreprinderii care permit să se sesizeze cei mai importanţi parametrii productivi (durata ciclului, întreruperea funcţionării maşinii şi cauzele acesteia, număr de bucăţi, etc.);
- sisteme de asigurare a calităţii asistate de calculator care dau posibilitatea unui control calitativ tot timpul şi pot să furnizeze informaţiile din vreme şi calificat, astfel încât piesele injectate cu defecte să poată fi detectate;
- sunt la dispoziţie sisteme *CAD* pentru: proiectarea pieselor injectate în reprezentarea *3D* şi pachetele de programe pentru conceperea pieselor injectate de formă adecvată materialelor plastice, analiza termică şi reologică a matriţei, simularea curgerii şi concepţia răcirii.

Multe întreprinderi moderne de prelucrare a materialelor plastice prin injectare au influenţat deja aceste tehnologii noi, însă o combinaţie aleatoare a acestor tehnologii noi nu este suficientă pentru aducerea la nivel maxim a productivităţii şi flexibilităţii.

Sistemele de informaţii şi de prelucrare a datelor se bazează în general pe diverse calculatoare şi deseori nu sunt capabile de comunicaţie sau sunt doar într-o mică măsură. Un sistem de fabricaţie cu calculator integrat trebuie să fie însă o soluţie de sisteme care să combine toate sistemele de calcul şi să integreze diferite fluxuri informaţionale. Comunicaţii în cadrul unei structuri *CIM* la o intreprindere sunt prezentate în *fig.7.66.*

7.5.3.2. Factori importanţi ai unui sistem CIM pentru prelucrătorii prin injectare

Supravegherea celor mai importanţi parametrii de producţie. Pentru a se atinge o productivitate mare în producţie este necesară supravegherea unor parametri ca de exemplu:

- *supravegherea duratei ciclurilor.* Abaterile mici de la durata prevăzută a ciclului sunt greu de constatat fără un sistem de supraveghere, însă constituie totuşi un element important pentru productivitate. Supravegherea continuă a tuturor datelor de ciclu şi compararea lor cu duratele de referinţă rămâne o funcţie importantă a sistemului de comandă a producţiei;
- *opririle maşinilor.* Prin introducerea unor protocoluri de stare sau analize de frecvenţă a opririlor se poate oferi conducătorului producţiei o imagine completă asupra maşinilor de injectat. În baza acestor protocoluri se pot lua măsuri pentru a se reduce întreruperile în funcţionare şi se ridică astfel gradul de utilizare a maşinilor [22];
- *consumul de material.* Pentru a se realiza economie de material trebuie să se compare cantitatea de material efectiv consumată cu cantitatea prevăzută. Se poate calcula corect necesarul de materiale;
- *supravegherea matriţei.* Calitatea matriţei este un factor important pentru obţinerea unui produs de calitate. Cunoaşterea numărului de piese produse între două reparaţii ale matriţei facilitează introducerea unor programe de întreţinere preventivă a matriţei.

Planificarea matriţei. Este important să se aibă la dispoziţie informaţii la zi asupra contractelor în curs de realizare pentru supravegherea duratei de livrare şi planificarea timpului efectiv de lucru.

Sistemul trebuie să ofere posibilitatea de a se indica toate contractele aflate în curs de realizare. Aceste informaţii reprezintă baza sistemului de planificare a timpului efectiv de lucru alături de datele maşinii, datele matriţei şi datele despre produs stocate în memorie.

Supravegherea calităţii. Sistemul *CIM* trebuie să permită analiza şi controlul timpului efectiv de lucru. Rebuturile pot fi introduse manual pe calculator prin intermediul unei unităţi de input o dată cu cauza rebutului sau se poate determina automat prin cântărire şi control dimensional. În orice caz numărul şi cauza rebuturilor sunt transmise mai departe calculatorului central şi pot fi analizate imediat (corelaţie, frecvenţa erorilor, etc.). În acest caz se pot sesiza mai repede problemele şi se pot reduce rebuturile. Acesta constituie un avantaj important în raport cu controlul obişnuit, manual al rebuturilor care se efectua lunar sau săptămânal, economisind multă muncă administrativă.

Sistem de planificare şi comunicaţie. Combinaţia funcţiilor de supraveghere şi planificare dă posibilitatea constituirii sistemului de comunicaţie. Funcţia globală se sprijină

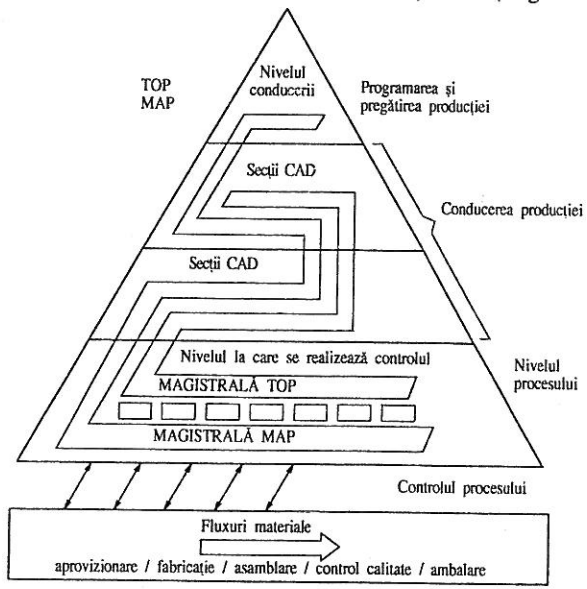


Fig.7.66. Comunicaţii în cadrul structurii *CIM*:
MAP - protocol pentru automatizarea fabricaţiei; *TOP* - protocol tehnic şi de birou.

pe o rețea de terminale de comunicație. Toți angajații și responsabilii cu calitatea găsesc pe ecran informațiile necesare. Un astfel de sistem indică, de exemplu, modificări planificate cu câteva ore înainte ca un lot să se fi încheiat. Această informație indică următoarea matriță care trebuie montată pe mașină. În acest fel se poate pune la dispoziție matrița pregătită pentru producție pe mașină corespunzătoare când s-a încheiat următorul lot. Deoarece pregătirile matriței reprezintă 40% din durata totală de schimbare a matriței, această comunicație este de mare ajutor pentru reducerea duratelor de reglare.

Stocarea centrală a datelor de reglare a mașinii. Noile mașini de injectat mase plastice dispun de microprocesor propriu care controlează toate funcțiunile esențiale ale mașinii. Din momentul în care microprocesorul a devenit un sistem de calcul autentic există posibilitatea de a fi conectat cu un calculator central supraordonat. Este necesar un sistem de coordonare condiționat de numărul diferitelor mașini care să conecteze toate microprocesoarele cu sistemul central. Informațiile pot fi conduse de la mașină la sistemul de calcul și de la sistemul de calcul la mașină. În acest fel pot fi stocate centralizat toate datele, de exemplu, toți parametrii de reglare pentru o anumită matriță și pot fi transmise la mașină dacă se dă o comandă. Aceasta înseamnă că numeroși parametri de reglare nu mai trebuie să fie introduși separat în mașină.

7.5.3.3. Arhitectura unui sistem CIM

Intreprinderea care dorește să instaleze un sistem de fabricație asistat de calculator, solicită o soluție care să corespundă condițiilor actuale cât și celor de perspectivă.

La dezvoltarea unui sistem integrat trebuie să se ia în considerare că se așteaptă o flexibilitate ridicată a sistemului. Adoptarea unui sistem de calcul aduce cu sine multe modificări ale software-ului care duce la cheltuieli însemnate. Flexibilitatea este necesară, dar la un preț accesibil. Din acest motiv, la un sistem productiv integrat cu calculatorul trebuie să se ia în considerare:

- elemente constructive locale de hardware pentru legătura cu producția (mașini, personal, robot, etc.) și sistemul;
- comunicația între mașinile din producție și calculatorul central;
- stocare rațională a datelor;
- biblioteca de program construită modular.

Hardware în sala de producție. Alegerea hardware-ului local este un pas important în planificarea unui sistem de conducere a producției. Hardware-ul local trebuie să poată îndeplini o serie de condiții:

- detectarea automată a anumitor semnale de mașină (durată de ciclu, viteze, întreruperi, etc.);
- cuprinderea și prelucrarea datelor analoage cum ar fi temperaturile și presiunile;
- interfață pentru conducerea mașinii și aparatele aferente;
- posibilitatea introducerii manuale a cauzelor întreruperilor, date despre calitate și date asemănătoare;
- prelucrare locală a datelor;
- stocare locală a datelor (aceasta garantează păstrarea informațiilor și la căderea sistemului);
- posibilități de integrare a cititoarelor, cartelelor optice și magnetice, ca și aparatele de cuprindere a datelor.

Hardware-ul care satisface toate aceste criterii poate fi considerat un hardware cu inteligență distribuită.

Comunicație. Mașinile comandate de microprocesor, folosite în prezent, sistemele de schimbare a matriței și roboții necesită o comunicație bidirecțională. Aceasta cuprinde trei etape.

Primei etape îi aparțin de exemplu: semnale, indicații, comenzi de oprire a mașinii. Această treaptă simplă poate fi oferită de mai multe sisteme. Sistemul transmite informații mașinii și acționează un bec sau întrerupe funcționarea mașinii din rațiuni calitative, pentru o schimbare a matriței când dispozitivele de ajustare nu se găsesc în domeniul de referință, etc. Această primă fază a comunicației bidirecționale este singura care poate fi integrată ulterior pe mașini ale unei generații anterioare cu ajutorul unei interferențe.

A doua etapă cuprinde comunicația pasivă bidirecțională la prima etapă, însă acum este necesar să fie stocate diferite valori de reglare, care sunt necesare pentru deservirea mașinii în vederea producerii unei anumite piese injectate. Dacă se lansează o sarcină, toți parametrii de reglare se transmit mașinii.

Cea de-a treia etapă permite o comunicație interactivă bidirecțională. În această ultimă fază, sistemul de diagnosticare a calculatorului poate să influențeze de asemenea microprocesorul mașinii.

Stocarea eficientă a datelor. Sistemul băncii de date este nucleul sistemului flexibil. Toate datele stocate în multiplexor ale diferitelor trepte de producție sunt gestionate într-o bancă de date pentru producție.

Pe piața calculatoarelor este disponibilă o întreagă serie de sisteme de bănci de date, dar acestea nu sunt adaptate problemelor prelucrării datelor în timp real într-un mediu productiv. În afară de aceasta, necesită deseori un calculator de mare capacitate și foarte scump. Problema stocării adecvate a datelor fără un efort exagerat de investiții se poate soluționa doar prin dezvoltarea unei bănci detate raționale care satisface toate necesitățile informaționale ale unei intreprinderi. În primul rând, trebuie ca informațiile să stea la dispoziție în timp real, iar datele să poată fi corelate.

Disponibilitatea datelor dă posibilitatea de a supraveghea diferite secții sau funcțiuni în așa fel încât, pe de o parte să poată fi strânse separat toate informațiile aferente și pe de altă parte să se coreleze datelor celorlalte secții între ele. Sistemul băncii de date merge cel mai bine cu un hardware standard în condițiile unui sistem de funcționare nemodificat.

Programele utilizatorului. Programele utilizatorului sunt cele mai importante pentru beneficiar. Sunt posibile mai multe programe:

- protocoluri asupra supravegherii producției;
- protocoluri săptămânale și lunare;
- programe pentru pregătirea procesului;
- protocoluri privind încărcarea și gradul de utilizare al mașinilor;
- programul de coordonare a stocului, de planificare a capacității și supravegherii calitative.

Conținutul informațional al diferitelor relatări este necesar să fie indicat cât mai simplu și mai clar. Reprezentările grafice ale conținutului informațional sunt cele mai indicate. Biblioteca de programe trebuie construită modular, în scopul cuprinderii în aceasta a diverse utilizări. Doar sistemele care conțin aceste grupe constructive garantează flexibilitatea necesară.

7.5.3.4. Diverse activități CIM în practică

Planificarea și alegerea unui sistem *CIM* este dificilă, însă este posibilă găsirea

unei soluții optime [19, 22].

Reglarea ulterioară a unui parametru de proces la o mașină de injectat este pusă în evidență în *fig.7.67.*

În *fig.7.67.a* este indicat modul de fabricație convențional la realizarea unei piese injectate care trebuie să respecte condițiile înalte de calitate cu respectarea unei toleranțe precrise. Materialul utilizat este supus în cursul utilizării sale anumitor oscilații care trebuie compensate prin variația unui parametru de proces pentru a se atinge o calitate constantă a parametrului cerut. De aceea, după preluarea piesei, se determină parametrii calitativi raportați cu ajutorul unui dispozitiv automat de măsurare, pentru recunoașterea anumitor tendințe ale acestuia și ale contracara. Intensitatea și direcția variației parametrului de proces, care trebuie să apară ulterior se citește dintr-un tabel de reglare și se introduce în comanda mașinii. Tabelul de reglaj se citește anterior, empiric.

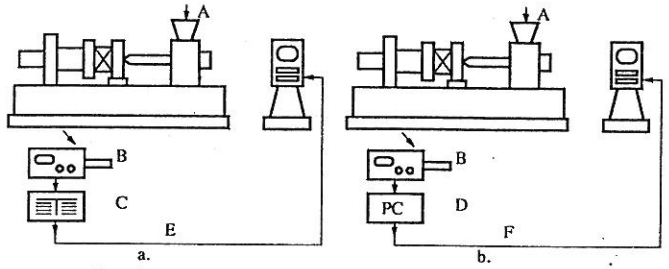


Fig.7.67. Reglarea ulterioară a unui parametru de proces:
a - reglare manuală; b - reglare cu calculator de comandă;
A - proprietăți ale materialului ce se pot modifica; B - determinare calitativă;
C - tabel de reglare; D - calculator personal; E - reglarea ulterioară manuală
a unui parametru de proces; F - variația unui parametru de proces.

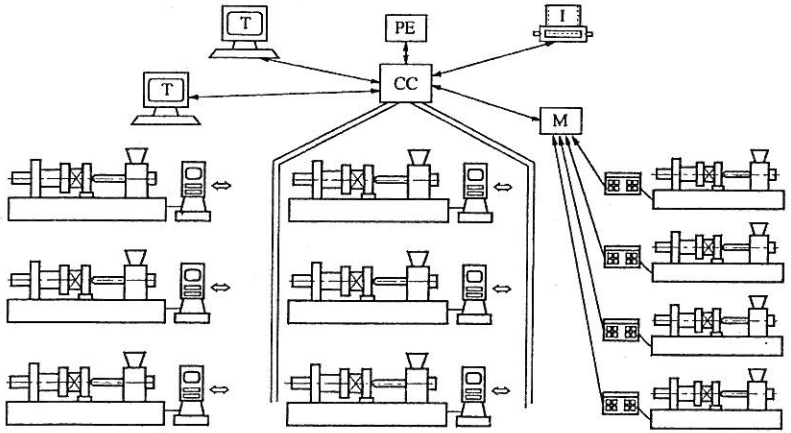


Fig.7.68. Concepția unui calculator de comandă pentru înmagazinarea
datelor de funcționare pentru mașini de injectat:
a - comandă prin microcalculator; b - convențional;
T - terminal cu ecran; PE - prelucraea electronică a datelor centrale;
CC - calculator cu comandă; I - imprimantă; M - multiplexor pentru domeniu.

Prin utilizarea computerului personal care comunică cu comanda mașinii a putut fi automatizat modul de desfășurare a procesului (*fig.7.67.b*). Datele privind calitatea necasară drept mărimi de intrare sunt înmagazinate automat, nefiind necesare introducerile manuale în producția curentă.

O realizare a sistemului *CIM*, care suscită interes pentru mai multe intreprinderi care execută piese injectate este prezentată în *fig.7.68.* Configurația prezentată este baza de hardware a unui sistem de înmagazinare a datelor de funcționare, unde se pot include, de asemenea, mașini de injectare comandate pe cale convețională. În timp ce la mașinile comandate prin microcalculator se apelează la informațiile necesare prin locul de încrucișare a calculatorului de comandă, la mașinile de injectat care nu pot să comunice se găsesc dulapuri de racord separate care receptează semnalele separate și alcătuiesc din acestea informații pentru calculatorul de comandă. În același timp ele permit introducerea unor cauze de întrerupere a funcționării mașinii. La mașinile reglate prin microcalculator are loc introducerea datelor prin pupitrul de deservire a comenzii pe o parte specială a ecranului.

Prin înmagazinarea datelor funcționării, calculatorul de comandă a producției preia transmiterea și arhivarea seturilor de parametri de reglare pentru mașinile reglate prin microcalculatoare.

BIBLIOGRAFIE

1. *Babuția, I., Petrescu, M.* Automatizări electronice în construcția de mașini. Editura Facla, Timișoara, 1983.
2. *Teodorescu, D.* Introducere în microelectronică. Editura Facla, Timișoara, 1985.
3. *Simion, E., Miron, C., Feștilă, L.* Montaje electronice cu circuite integrate analogice. Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1986.
4. *Bodea, M., Mihuț, I., Turic, L., Tiponuț, V.* Aparate electronice pentru măsurare și control. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1985.
5. *Hașegan, M., C., Hașegan, D., C.* Proiectarea sistemelor cu microprocesor Z80. Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1988.
6. *Toacșe, Ghe.* Introducere în microprocesoare. Editura Științifică și Enciclopedică, 1985.
7. *Kondor, A., Gulyá, E.* Mikroprocesszor a müanyagfeldolgolzában. Müanyag és Gumi, Nr. 1, 1984.
8. *Dunai, A.* Müanyagfeldolgozó Gépek. Müszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
9. *Halász, L.* Szabályozás, vezérlés, folyamatirányítás a müanygfeldolgozásban. Müszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
10. *Jinescu, V., V.* Măsurarea temperaturii la mașinile pentru prelucrarea materialelor termoplastice a cauciucului și amestecurilor din cauciuc. Materiale Plastice, nr. 4, 1971.
11. *Heuel, O.* Drücke und Druckmessung beim Spritzgiessen. Plastverarbeiter, nr. 11, 1981.
12. *** Messen des Werkzeuginnendrucks. Plastverarbeiter, Nr. 4, 1982.
13. *Menges, G., Mohren, P.* Anleitung für den Bau von Spritzgiesswerkzeugen. Carl Hanser Verlag, München Wien, 1986.
14. *Rheinfeld, D., Jensen, R.* Anwendung von Prozessregel-und-steuergeräten bei der

Spritzgiess-Verarbeitung. Kunststoffe, Nr. 8, 1975.
15. *Meyer, G.* Einfluss der Verarbeitungsparameter auf die Qualität von Spritzgussteilen. Bedeutung des Werk, Zeuginnendrucks bei der Qualitätsüberwachung. Plastverarbeiter, Nr. 3, 1982.
16. *Stietz, S., Hangesbach, A.* Analogarbeitende Prozessführungsgeräte für Spritzgiessmaschinen. Plastverarbeiter, Nr. 4, 1974.
17. *Coppetti, T.* Wege zur Material-und Energieeinsparung mit dem Ziel der Produktionkosten-Minimalisierung. Plastverarbeiter, Nr. 11, 1980.
18. *** Probleme ale automatizării proceselor industriale și ale cercetării medicale. Mecanizarea, automatizarea și robotizarea proceselor industriale. Buletin de informare și documentare tehnico-științifică, INID, nr. 2, 1989.
19. *Matzke, A.* Mikrorechnergeregelte Spritzgiessmaschienen-Bausteine zur Realisierung von CIM-Konzepten. Kunststoffe, nr. 8, 1987.
20. *Menges, G., Bourdon, K., Eysmondt, V., B., Filz, P., Gliese, F.-R., Lauterbach, M., Weyer, G.* CIM in Spritzgiessbetreib. Kunststoffe, Nr. 11, 1986.
21. *Westkämper, E.* Strukturen von CIM-Systemen mit integrierter Auftragsabwicklung. CAD, CAM, CIM. Sonderteil in Hanser-Fachzeitschriften, Februar, 1989.
22. *Schepens, J.* Soluția CIM pentru industria prelucrătoare de materiale plastice. Kunststoffe, Nr. 5, 1988.
23. *Schönewald, H., Spalt, H.* CAE in mould Design. Kunststoffe Europe, November, 1990.
24. *Schmidt, J.* CAE-Einsatz beim Auslegen von Kunststoffbauteilen. Kunststoffe, Nr. 2, 1988.
25. *Heinrichs, H., Steufen, B.* Kosteneisparung bei Spritzgiesswerkzeugen. Kunststoffe, Nr. 1, 1989.
26. *Caren, S.* Vorteile in jeder Phase des Produktionskreislaufes. Plastverarbeiter, Nr. 12, 1991.
27. *Königslehner, M.* Entwicklung von Kunststofformteil und Werkzeug. Plastverarbeiter, Nr. 10, 1989.
28. *Piwowarsky, E.* Herstellen von Spritzgiesswerkzeugen. Kunststoffe, Nr. 12, 1988.
29. *Steinmetz, G.* CAD/CHM - Anwerdung beim rechnerintegrierten Spritzgiessen. Voraussetzungen und Parameter zur Schwungbechnung. Kunststoffe, Nr. 5, 1987.
30. *Steinmetz, G.* CAD/CAM - Anwendung zum rechnerintegrierten Spritzgiessen. Werkzeugauslegung, Prozessimulation und Maschineneinstellung. Kunststoffe, Nr. 5, 1987.
31. *Dietz, Ch., Frank, K.* CAD-CAM in Werkzeug und Modelbau. Kunststoffe, Nr. 7, 1989.
32. *Hess, J., Eiden, G.* Rechnergestützte Werkzeuggauslegung. Kunststoffe, Nr. 2, 1988.
33. *Wiskot, G.* Werkzeuge Konstruiren mit CAD und gespeichrten Normalien. Kunststoffe, Nr. 2, 1989.
34. *Thienel, P., Schmidt, St.* Spritzgiesswerkzeuge mecanisch auslegen. Kunststoffe, Nr. 10, 1991.
35. *Raible, T., Königslehner, M.* Spritzgiesswerkzeuge rechnergestutz Konstruieren und fertigen. Kunststoffe, Nr. 3, 1990.
36. *Hagen, J.* Dreidimensionales CAD/CAM Erfarungen im Formen und Werkzeugbau. Kunststoffe, Nr. 10, 1989.
37. *** Probleme ale robotizării producției industriale. Mecanizarea, automatizarea și robotizarea proceselor industriale. Buletin de informare și documentare INID, nr. 1, 1989.
38. *** Procese de muncă. Tehnologii, procese de muncă, design industrial. Buletin de informare și documentare INID, nr. 1, 1990.
39. *Johannson, B., F.* Prinzipien einer automatischen Spritzgiessfertigung. Kunststoffe, Nr. 10, 1988.

40. *Johannson, B., F.* Zwei Beispiele für Handhabungs geräte in der Kunststofftechnick. Plastverarbeiter, Nr. 9, 1981.
41. *** Techniques d'automatisation 89/90. Robots industriels et changeurs d'autilages. Broșura firmei Battenfeld 1989/1990.
42. *Michaeli, W., Eysmondt, B., Inden, G., Müller, F.* Indrustrieller Einsatz der Flexiblen Automatiserung in Spritzgiess betrieben. Kunststoffe, Nr. 9, 1989.
43. *Henze, J.* Summary Automation Papers. Broșura firmei Battenfeld, Injection Moulding Technology of the '90 s, PAD 09/91.
44. *** Engel Werkzeug Wechsel System. Broșura firmei Engel.
45. *Ispas, V., Pop, I., I., Bocu, M.* Roboți industriali. Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1985.
46. *Thienel, P., Berlin, R.* Flexibles Fertigen Beim Spritzgiessen. Kunststoffe, Nr. 10, 1988.
47. *** Automatisierungstechnik Industrieroboter un Werkzeugwechselsysteme. Broșura firmei Battenfeld, Automation Technik.
48. *Krebser, R.* Automatisierter Spritzgiessbetrieb. Kunststoffe, Nr. 11, 1986.
49. *Bauer, R.* Integration der Spritzgiessfertigung in Gesamtfertigung. Kunststoffe, Nr. 10, 1988.

8. Operaţii suplimentare aplicate pieselor injectate

Piesele injectate, după scoaterea din matriţă, pot fi utlizate ca produse finite sau semifabricate fără a necesita operaţii ulterioare.

În anumite cazuri însă piesele injectate pot fi supuse unor operaţii suplimentare în vederea asamblării, îmbunătăţirii calităţilor de suprafaţă, a ornamentării, etc.

8.1. Prelucrări mecanice prin aşchiere

Prelucrarea mecanică prin aşchiere se aplică pieselor injectate pentru: obţinerea unei precizii dimensionale ridicate, o mare precizie a formei, mărirea posibilităţilor de montaj (găuri suplimentare, degajări, etc.), precum şi pentru eliminarea unor defecte de fabricaţie reazultate la injectare (bavuri, deformări, etc.).

Pentru determinarea alegerii sculelor şi a condiţiilor de lucru este necesar să se ţină seama de câteva caracteristici comparabile cu cele ale metalelor: conductibilitatea termică mică, punct de topire redus, modul de elasticitate mic.

Conductibilitatea termică este aproximativ de 300 de ori mai redusă decât la oţel, ceea ce provoacă o creştere rapidă a temperaturii piesei în timpul prelucrării. Căldura ce se produce la aşchierea materialelor plastice provine din lucrul mecanic de deformare (55...60%) şi lucrul mecanic de frecare (40...45%). Căldura rezultată în urma aşchierii este preluată de aşchie (57...60%), piesa de lucru (15...18%) şi sculă (25%) [1]. La prelucrarea maselor plastice scula preia mai multă căldură decât la prelucrarea metalelor cu aproximativ 5...8%.

Datorită conductibilităţii termice reduse căldura produsă la aşchiere se localizează pe o porţiune mică a suprafeţei de contact dintre aşchie şi piesa de lucru şi pe zona unde se desprinde aşchia de piesă. Peste o anumită viteză de aşchiere acest fenomen determină topirea parţială a materialului prelucrat şi lipirea lui pe sculă. Temperatura joasă de topire a materialelor plastice determină în cazul unor prelucrări necorespunzătoare încălziri locale rapide.

Modulul de elasticitate scăzut al materialelor plastice determină deformări locale ale piesei injectate la presiunea executată de sculă, fenomen care poate duce cu uşurinţă la rebutarea piesei.

Caracteristicile amintite anterior determină multiple condiţii de lucru care trebuie respectate. Acestea se referă la: scule foarte bine ascuţite, viteză de tăiere suficient de mare, avans mic, prinderea uniformă a piesei. În unele cazuri este util să se prevadă suplimentar: agent de răcire, susţinerea piesei prelucrate, scule speciale.

Sculele folosite la aşchierea pieselor injectate sunt executate din oţel carbon ca şi

cele folosite la prelucrarea metalelor. Oţelurile rapide şi carburile metalice sunt preferabile datorită duratei lungi de folosinţă. La prelucrarea materialelor plastice armate cu fibre de sticlă se folosesc scule confecţionate din diamant.

Răcirea în timpul aşchierii cu ajutorul unui lichid permite obţinerea unor viteze sporite de prelucrare şi obţinerea unei suprafeţe finite superioare. Se pot folosi şi în acest caz lubrifianţii folosiţi la prelucrarea metalelor (ulei, ulei emulsionat), agenţi sintetici sau apă pură.

Ca şi pentru metale, prelucrările maselor plastice se pot împărţi în operaţii de degroşare şi de finisare.

8.1.1. Debitarea

Debitarea pieselor injectate se poate realiza cu fierăstrău circular sau cu fierăstrău panglică.

Fierăstrău circular. Dinţii fierăstrăului circular nu se îndoaie pentru a nu se produce fenomenul de smulgere al materialului plastic. Pentru reducerea frecării discului de material se recomandă ca grosimea discului să scadă spre centrul lui, astfel:

- pentru discul de grosime 1...2 mm cu 0,10...0,15 mm;
- pentru discul de grosime 3...4 mm cu 0,30...0,40 mm;
- pentru discul de grosime 5...6 mm cu 0,50...0,60 mm.

La debitare cu fierăstrău circular se poate folosi răcirea intensă cu apă. În *tab.8.1* se fac recomandări tehnologice la tăierea cu fierăstrăul circular [1].

Fierăstrău panglică. Se poate folosi la piesele care nu au grosimi prea mari. Pentru a evita înţepenirea benzii în materialul plastic dinţii sunt puţin îndoiţi. În timpul tăierii piesa trebuie bine fixată pe masa de lucru, iar forţa de apăsare să fie uniformă. În *fig.8.1.* şi *tab.8.2* sunt prezentate recomandări constructive ale fierăstrăului tip panglică pentru diferite materiale plastice.

Tab.8.1. **Fierăstraie circulare recomandate la tăierea plăcilor din material plastic.**

	Diametru exterior [mm]	Grosimea dinţilor [mm]	Număr de dinţi	Diametru de prindere [mm]
placă cu grosimea sub 5 mm	125	2,4	20	30...35
	150	2,7	24	
	180	2,7	30	
	200	3,0	34	
	250	3,2	42	
	300	3,2	52	30...80
	350	3,5	60	
	400	3,8	68	
placă cu grosimea peste 5 mm	125	2,4	20	30...35
	150	2,7	24	
	180	2,7	30	
	200	3,0	34	
	250	3,2	42	
	300	3,7	52	30...350
	350	4,0	60	
	400	4,3	68	

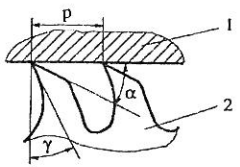


Fig.8.1. Geometria dintelui fierăstrăului tip panglică: 1 - piesă injectată; 2 - dinte; α - unghi de așezare; γ - unghi de degajare.

Tab.8.2. Fierăstraie tip panglică recomandate la tăierea plăcilor din material plastic.

Material plastic	Unghi de degajare γ [grade]	Unghi de așezare α [grade]	Viteza de rotire [m/min]	Pasul p [mm]
PVC tare	0...5	20...30	3000...4000	3...5
Poliamidă	5...8	20...30	1000...2000	5...8
Polimetacrilat de metil	5...8	30...40	1500...3000	2...4
Poliacetal	0...10	10...15	1000...3000	2...8
Polietilenă	0...15	10...15	1000...3000	5...8
Polipropilenă	0...15	10...15	1000...3000	5...8
Policarbonat	5...15	20...40	1000...4000	5...10
PVC tare	0...5	30...40	500...1200	2...4
Poliamidă	5...8	30...40	200...1000	4...10
Polimetacrilat de metil	5...8	15...20	200...1000	2...4
Poliacetal	0...5	30...40	500...1500	2...8
Polietilenă	0...10	20...35	1000...1500	2...4
Polipropilenă	0...10	20...30	1000...1500	2...4
Policarbonat	0...8	30...40	500...1000	2...4

8.1.2. Strunjirea

La strunjirea materialelor plastice se pot folosi aceleași cuțite ca la prelucrarea metalelor, dar cu unghiurile cuțitului puțin modificate. În *fig.8.2* și *tab.8.3* sunt prezentate indicații tehnologice pentru diferite cuțite de strung în funcție de materialul termoplastic prelucrat. În funcție de viteza de așchiere recomandată pentru un material, precum și de diametrul piesei prelucrate, se poate determina turația de prelucrare pentru diferite materiale din care e confecționat cuțitul de strung (*fig.8.3* și *fig.8.4*) [3].

La strunjirea materialelor termoplastice se recomandă ca temperatura de prelucrare să nu depășească 60°C. La prelucrări de precizie controlul dimensional se efectuează doar după ce piesa se răcește până la temperatura ambiantă. La toleranțe foarte strânse se recomandă alegerea caracteristicilor tehnologice astfel încât controlul dimensional să aibă loc la o temperatură apropiată de temperatura de lucru a piesei injectate.

8.1.3. Frezarea

Materialele termoplastice se pot prelucra prin frezare folosind scule asemănătoare cu cele de la prelucrarea metalelor. Pentru diferite materiale termoplastice se recomandă anumiți parametri tehnologici la prelucrare (*tab.8.4*). În funcție de viteza de așchiere și diametrul frezei cu care se prelucrează se poate determina turația sculei (*fig.8.3* și *fig.8.4*).

Și la frezare se recomandă ca temperatura de prelucrare să nu depășească 60°C, răcirea realizându-se cu aer sub presiune. Se acordă o atenție deosebită fixării pieselor pe masa mașinii datorită posibilităților de deformare ale acestora.

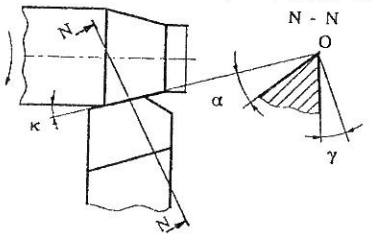


Fig.8.2. Geometria cuțitului de strung pentru prelucrarea materialelor plastice: α - unghi de așezare; γ - unghi de degajare; χ - unghi de atac.

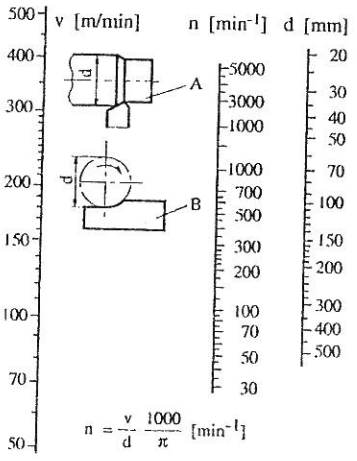


Fig.8.3. Nomogramă pentru determinarea rotației piesei sau sculei la strujirea sau frezarea materialului plastic (material sculă: oțel rapid; regimul turațiilor n = 30...5000 rot/min): A - strunjire; B - frezare.

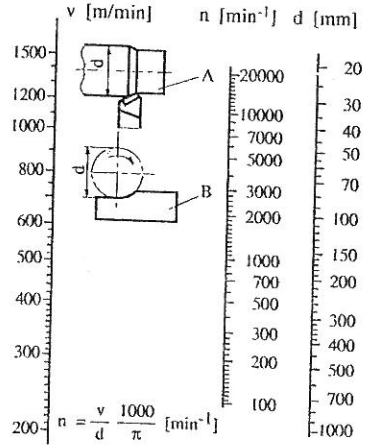


Fig.8.4. Nomogramă pentru determinarea rotației piesei sau sculei la strujirea sau frezarea materialului plastic (material sculă: carburi metalice; regimul turațiilor n = 100...20000 rot/min): A - strunjire; B - frezare.

8.1.4. Găurirea

La executarea operației de găurire se recomandă să nu se depășească temperatura de 60°C. Datorită dilatării termice a găurii în timpul prelucrării, după răcire diametrul găurii se va micșora. Din acest motiv se recomandă folosirea unor burghie mai mari cu $(0,1...0,2)D$ decât diametrul găurii. Răcirea burghiului în timpul prelucrării se realizează cu aer sub presiune. La găurire se pot folosi burghie obișnuite, elicoidale (*fig.8.5*). Parametrii geometrici și tehnologici ai burghielor elicoidale la prelucrarea materialelor plastice pot fi urmăriți în *tab.8.5* [1]. În funcție de diametrul găurii și viteza de așchiere, se poate determina turația recomandată pentru sculă din nomogramele prezentate în *fig.8.6* și *fig.8.7* [3].

La găurirea găurilor cu diametru mai mare de 10 mm se recomandă găurirea în mai multe trepte, prima gaură având diametrul (0,25...0,3)*D*.

Tab.8.3. **Parametrii geometrici şi funcţionali la strunjirea materialelor plastice.**

Material plastic	Unghi de degajare γ [grade]	Unghi de aşezare α [grade]	Unghi de atac χ [grade]	Viteza de aşchiere [m/min]
PVC tare	0...5	5...10	45...60	100...700
Poliamidă	-5...+8	8...20	15...45	300...1000
Polimetacrilat de metil	0...4	5...10	12...15	200...300
Poliacetal	0...5	5...15	45...60	200...500
Polietilenă	0...15	8...20	45...90	150...500
Polipropilenă	5...20	5...10	45...90	200...500
Policarbonat	0...5	5...10	45...60	150...400
Polistiren	0...2	5...10	12...15	50...200
Politetrafluoretilenă	10...15	8...20	80...90	250...1000
Etilceluloză	0...5	5...10	45...60	200...500

Tab.8.4. **Parametrii geometrici şi funcţionali la frezarea materialelor plastice.**

Material plastic	Unghi de degajare γ [grade]	Unghi de aşezare α [grade]	Viteza de aşchiere [m/min]
PVC tare	0...5	5...10	500...1000
Poliamidă	15...25	25...30	800...1000
Polimetacrilat de metil	1...5	2...10	1000...2000
Poliacetal	0...10	5...10	800...1000
Polietilenă	0...15	5...15	500...1000
Polipropilenă	0...15	5...15	500...1000
Policarbonat	0...10	5...10	500...1000
Polistiren	20...25	25...30	800...1000
Politetrafluoretilenă	10...12	5...10	800...1000
Etilceluloză	0...15	5...25	500...1000

Tab.8.5. **Parametrii geometrici şi funcţionali la găurirea materialelor plastice.**

Material plastic	Unghi de profil ε [grade]	Unghi de degajare γ [grade]	Unghi de aşezare α [grade]	Viteza de aşchiere [m/min]
PVC tare	80...120	0...3	5...10	60...120
Poliamidă	60...120	3...5	10...12	50...300
Polimetacrilat de metil	80...100	0...4	3...8	20...60
Poliacetal	60...100	3...5	5...8	50...100
Polietilenă	70...110	0...8	8...12	50...150
Polipropilenă	70...110	0...8	8...12	50...150
Policarbonat	60...90	3...5	5...8	50...200
Polistiren	60...90	3...5	5...8	20...60
Politetrafluoretilenă	100...120	3...5	3...8	50...150
Etilceluloză	80...110	3...5	8...10	30...80

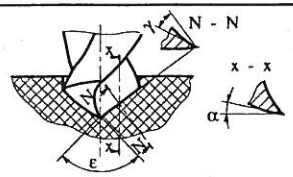


Fig.8.5. Geometria sculei la găurirea materialelor plastice:
α - unghi de oscilare; γ - unghi de degajare;
ε - unghi de profil.

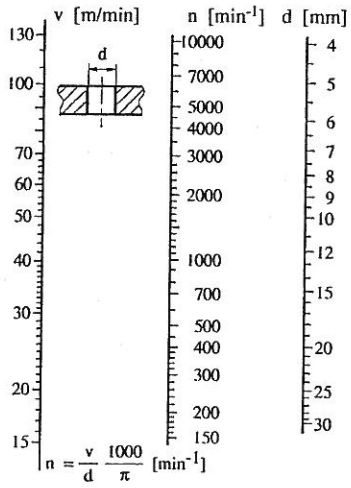


Fig.8.6. Nomogramă pentru determinarea rotaţiei piesei sau sculei la găurirea materialului plastic (regimul turaţiilor n = 150...10000 rot/min).

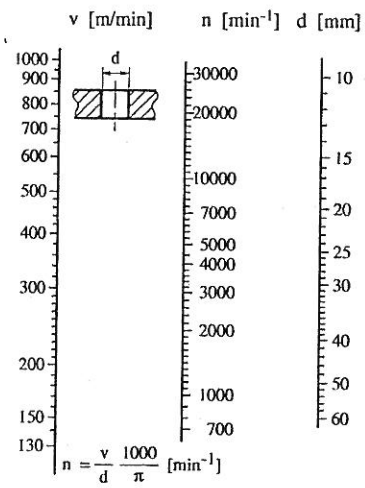


Fig.8.7. Nomogramă pentru determinarea rotaţiei piesei sau sculei la găurirea materialului plastic (regimul turaţiilor n = 700...30000 rot/min).

8.1.5. Rectificarea

Reperele executate din anumite materiale (policarbonat, polimetacrilat de metil) care necesită o precizie ridicată se supun operaţiei de rectificare. La rectificare se folosesc pietre de rectificat cu granulaţie fină (minimum 200) şi liant moale.

Viteza de rectificare se recomandă să fie aproximativ 40...50 m/s. În timpul operaţiei de rectificare se recomandă răcirea intensă cu lichid de răcire.

8.1.6. Lustruirea

Operaţia se aplică pentru a elimina unele suprafeţe matisate (urma bavurilor, a unor defecte, etc.). Lustruirea se realizează în două faze: prelustruirea se face cu disc pe care se aplică pastă de lustruire, iar lustruiea finală se face de asemenea cu disc şi pastă specială. Discurile sunt confecţionate din bumbac sau ţesătură. Aceastea au viteză periferică situată în domeniul 2000...3000 rot/min.

8.2. Ornamentarea

Piesa injectată poate fi supusă unei operaţii de ornamentare prin mai multe procedee: marcare la cald, imprimare, etichetare.

8.2.1. Marcarea la cald

Marcarea la cald a pieselor din materiale termoplastice este un procedeu frecvent folosit. Pentru marcare se folosesc folii de marcare în diferite culori sau cu efecte metalice. Procedeul este ilustrat în *fig.8.8.* O ștampilă purtătoare a inscripției se montează pe platoul mobil *1* al mașinii de marcat. Piesa injectată *4* se așează pe platoul fix *5* al mașinii. Folia de marcare *3* se mișcă între cele două platouri pe două role *6.* Ca urmare a presiunii exercitate de ștampila încălzită *2* pe folia de marcare *3* și piesa injectată *4* se marchează în piesa injectată inscripțiile conținute pe ștampilă ca urmare a transferării straturilor de vopsea de pe folie.

Aderența inscripției este dependentă de mai mulți factori: temperatura, timpul și presiunea de apăsare.

Există posibiltăți de marcare multiple: marcaj pozitiv, marcaj negativ, marcaj de suprafață. Condițiile de marcare (temperatură, presiune, timp de menținere) diferă în funcție de fiecare material termoplastic precum și de tipul foliei de marcare. Marcarea cea mai simplă se realizează pe suprafețe plane.

8.2.2. Imprimare prin serigrafiere

Imprimarea serigrafică se poate aplica atât pieselor injectate cu suprafețe plane cât și pieselor de revoluție cu suprafețe riglate (cilindru, trunchi de con). Imprimarea serigrafică plană este ilustrată în *fig.8.9.*

La această tehnologie se folosesc sitele serigrafice care sunt rețele cu ochiuri foarte fine (50...200 ochiuri/cm) realizate din fibre naturale sau sintetice. Sitele serigrafice se tratează cu substanțe fotosensibile care se impresionează fotografic după un anumit desen. La finalizarea sitei conturul desenului este realizat de ochiurile libere de sită, iar restul suprafeței are ochiurile sitei obturate de substanța fotosensibilă întărită. Punerea sitei în contact cu obiectul injectat permite vopselei să pătrundă prin ochiurile libere și să impresioneze, conform desenului, piesa injectată. Suprapunerea pe aceeași piesă a mai multor desene în diferite culori poate realiza o imagine policromă completă.

La imprimarea plană (*fig.8.9.a*) masa *5* pe care se fixează piesa *4* se presează pe sita serigrafică *3.* Racleta *1* în mișcarea ei face să treacă vopseaua de pe sită pe piesa injectată *4.* După îndepărtarea mesei mobile *5* se scoate piesa injectată inscripționată.

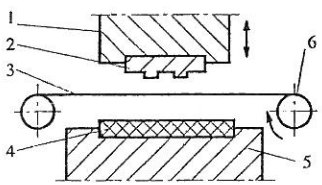


Fig.8.8. Procedeul de marcare la cald:
1 - platou mobil; 2 - ștampilă;
3 - folie de ștampilare;
4 - piesă injectată;
5 - platou fix; 6 - rolă.

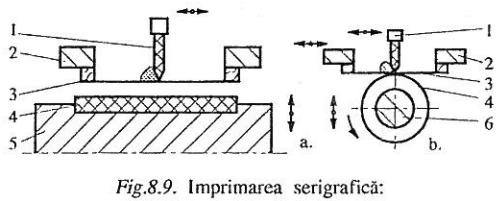


Fig.8.9. Imprimarea serigrafică:
a - imprimare serigrafică plană;
b - imprimare serigrafică rotațională;
1 - racletă; 2 - suport sită; 3 - sită serigrafică;
4 - piesă injectată;
5 - platou mobil; 6 - poanson rotitor.

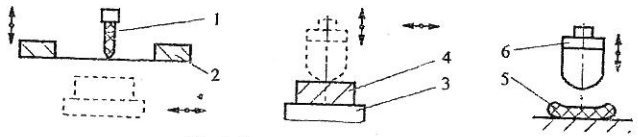


Fig.8.10. Imprimarea tampografică:
1 - racletă; 2 - sită serigrafică; 3 - platou mobil; 4 - ștampilă; 5 - piesă injectată; 6 - tampon.

La imprimarea serigrafică pe piese de rotație (*fig.8.9.b*) în timp ce sita serigrafică *3* execută o mișcare de translație obiectul injectat *4* execută o mișcare de rotație ca urmare a rotației poansonului *6.* Prin mișcarea racletei *6* vopseaua serigrafică trece de pe sita serigrafică pe obiectul injectat.

În cazul folosirii unor piese mai mici pentru creșterea productivității piesele se montează pe axele rotitoare ale unui carusel.

La imprimarea serigrafică se folosesc vopsele speciale. Imprimarea serigrafică se aplică ușor pe piesele din polistiren, ABS, poliacetal, acetat de celuloză, polibutilen tereftalat. Imprimarea se aplică cu mai mare dificultate pe piesele din polietilenă, polipropilenă (numai după ce acestea au fost tratate termic cu flacără).

8.2.3. Imprimarea tampografică

Acest tip de imprimare are avantajul de a realiza piese imprimate cu suprafețe neriglate care nu pot fi ornamentate prin alte procedee. Procedeul este prezentat în variantă simplificată în *fig.8.10.* Imaginea realizată de o sită serigrafică *2* pe o ștampilă *4* este preluată de către un tampon deformabil *6* din cauciuc siliconic și imprimată pe piesa injectată *5* cu suprafața neregulată. Tamponul se mulează pe suprafața piesei și prin apăsare transmite imaginea de pe suprafața sa.

Pentru imprimare se folosesc cerneluri speciale cu uscare rapidă. Pe aceeași piesă se pot face mai multe imprimări succesive realizând o imagine policromă. Imprimarea se aplică cu succes pieselor din polistiren, ABS, acetat de celuloză, polimetacrilat de metil. Procedeul este mai greu aplicabil poliolefinelor care pot fi imprimate numai după tratarea suprafeței cu flacără.

8.2.4. Ornamentarea cu elemente transferabile și etichete autoadezive

Piesele injectate se pot ornamenta cu elemente transferabile pe suprafețe ușor accesibile și în general plane (*fig.8.11.a*).

De pe o folie suport (polipropilenă, polietilenă) cu grosime foarte mică (30...50 μm) imaginea se transferă prin apăsare pe suprafața foliei cu instrumentul *4* pe piesa injectată *3.* Procedeul se realizează ca urmare a existenței pe suprafața foliei a unui adeziv sensibil la presiune care transferă imaginea de pe folie pe piesa injectată. Pentru un bun transfer se impune ca suprafața piesei injectate să fie lipsită de grăsimi sau agent de demulare provenit din matriță. Imaginea transferată este sensibilă la zgârâieturi. Atunci când se dorește o rezistență sporită a imaginii se practică o acoperire a

imaginii prin lăcuire. Procedeul se aplică cu succes întregii game de materiale termoplastice cu excepția poliolefinelor la care aderența peliculei transferate e mai puțin satisfăcătoare.

Etichetele autoadezive pe diferite suporturi (hârtie, PVC, poliester) imprimate cu diferite însemne, având adeziv permanent sunt protejate cu o hârtie antiaderentă. Prin eliminarea hârtiei protectoare eticheta *5* se aplică pe piesa *3* prin apăsare (*fig.8.11.b*). Atunci când se dorește o protecție suplimentară contra desprinderii, în piesa injectată se prevede un locaș. Suprafața pe care se aplică etichetele autoadezive trebuie să fie lipsită de grăsimi sau agent de demulare din matriță.

8.2.5. Ornamentarea direct în matriță

Ornamentarea unei piese injectate în matriță este procedeul prin care un element de ornamentare este introdus în matriță înainte de a realiza piesa injectată. După injectare piesa injectată va fi ornamentată.

O primă soluție de ornamentare este prezentată în *fig.8.12.* O folie *2* purtătoare a ornamentului, după ce este încărcată electrostatic pe un dispozitiv special, este așezată pe locul marcat al poansonului *1* al părții mobile a matriței. După realizarea injectării, piesa va avea înglobat elementul de ornamentare. Folia suport a elementului de ornamentare este, în cele mai multe cazuri, de același fel cu materialul care se injectează, astfel încât să se producă o sudare instantanee a celor două materiale la injectare. Cernelurile folosite la realizarea foliei ornament trebuie să fie rezistente la temperatura de injectare. Ornamentarea foliei se poate realiza prin serigrafiere sau prin procedeul offset. Procedeul are dezavantajul folosirii ciclului de lucru semiautomat al mașinii de injectat.

Un procedeu mai modern de ornamentare în matriță este prezentat în *fig.8.13* [9]. Acest procedeu permite folosirea ciclului automat al mașinii de injectat. Un dispozitiv *2* de construcție specială este montat pe platoul mobil *1* al mașinii de injectat. Folia *b* este derulată de către dispozitiv între partea mobilă *3* a matriței și partea fixă *5* a matriței. Pe lângă ghidarea foliei în dispozitiv ea este de asemenea ghidată în matriță de elementele de ghidare *4*. După injectare piesa va cuprinde elementul de ornamentare transferat de pe folie. Folia de imprimare este poziționată în matriță după fiecare injectare cu o precizie de 0,1...0,15 mm atât pe orizontală cât și pe verticală cu ajutorul unor senzori.

Folia de imprimare poate avea o lățime de până la 400 mm și poate realiza imprimări diverse (inscripții, efecte metalice, etc.). La folosirea acestui sistem se preferă matrițele cu canale încălzite.

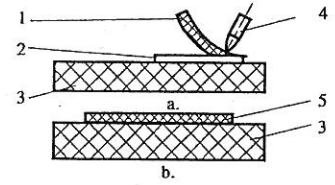


Fig.8.11. Ornamentarea cu elemente transferabile și etichete autoadezive:
a - cu elmente transferabile; b - cu etichete autoadezive; 1 - folie purtătoare de ornamente; 2 - ornament; 3 - piesă injectată; 4 - instrument; 5 - etichetă autoadezivă.

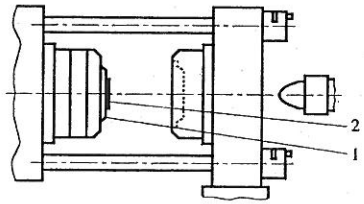


Fig.8.12. Ornamentarea direct în matriță (manual):
1 - poanson; 2 - folie ornamentală.

8.2.6. Imprimarea cu jet de cerneală

Firma *Image* a realizat sistemul flexibil de imprimare cu jet de cerneală [15]. Cu ajutorul său se imprimă majoritatea materialelor plastice, de forme diverse (concave sau convexe). Viteza maximă de imprimare este de peste 1200 caractere pe secundă și înălțimea caracterelor variază între 1...10 mm în funcție de tipul capului de imprimare. Caracterele sunt majuscule sau minuscule, alfanumerice sau coduri de bare. Sistemul este modular putând fi pilotate simultan până la 3 capete de imprimare.

8.3. Acoperiri ale suprafeței

8.3.1. Metalizarea în vid cu aluminiu

Operația de metalizare în vid a pieselor din material termoplastic se realizează în general cu aluminiu în instalații specializate de metalizare în vid (*fig.8.14*).

Piesele injectate se introduc în incinta *2* și se fixează pe elementele rotitoare *3*, care sunt fixate la rândul lor pe suportul rotitor *1*. Pe filamentele *4*, confecționate din wolfram, se așează bare din aluminiu cu puritate ridicată de diametru 1,5...2 mm. Se

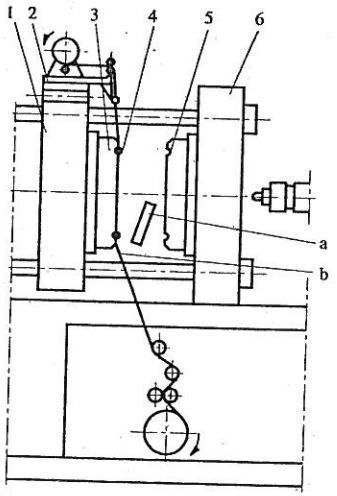


Fig.8.13. Ornamentarea direct în matriță cu dispozitiv special:
1 - platou mobil; 2 - dispozitiv special; 3 - semimatriță mobilă; 4 - elemente de ghidare; 5 - semimatriță fixă; 6 - platou fix; a - piesă injectată ornamentată; b - folie de ornamentare;

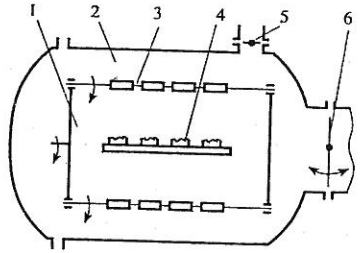


Fig.8.14. Instalație de metalizare în vid a pieselor:
1 - suport rotitor; 2 - incintă vidată; 3 - elemente rotitoare; 4 - filamente; 5 - robinet de legătură cu pompa de vid preliminar; 6 - robinet de legătură cu pompa de difuzie.

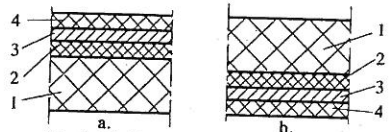


Fig.8.15. Piese injectate metalizate:
a - piesă opacă; b - piesă transparentă; 1 - piesă; 2 - lac de bază; 3 - peliculă metalizată; 4 - lac de protecție.

închide incinta și se realizează un vid mediu ($5 \cdot 10^{-4}$... 10^{-4} torr) cu ajutorul unor pompe de vid (pompă de vid preliminar și pompă de difuzie). Se încălzesc treptat filamentele până la incandescență prin punerea lor la o tensiune electrică. Aluminiul de pe filament se evaporă instantaneu depunându-se într-un film subțire pe suprafața pieselor injectate aflate în mișcare de rotație, cu ajutorul dispozitivelor rotaționale.

De cele mai multe ori se impune ca piesa injectată să aibă un luciu înaintat. Pe suprafețele pieselor există un număr mare de pori și neuniformități care după metalizare se pun în evidență. De aceea pe suprafața piesei injectate se depune un lac de bază. Lacul de bază mai poate avea și alt rol [1]:

- realizarea unei bune aderențe a peliculei de aluminiu atunci când suprafața piesei nu satisface această cerință;
- să împiedice degajarea unor substanțe volatile sau a vaporilor de apă.

După depunerea stratului metalizat pe suprafața piesei injectate este necesar ca acesta să fie protejat de un lac de protecție. Lacul de protecție trebuie să îndeplinească mai multe condiții [11]:

- nu trebuie să aibă efecte dăunătoare asupra stratului metalizat, a lacului de bază și a materialului piesei injectate;
- să aibă rezistență față de mediile agresive, solvenți sau uzură mecanică în funcție de destinație piesei.

În cazul în care lacul de protecție este transparent se pune în evidență stratul metalic, iar în cazul când lacul este colorat se poate realiza un efect de culoare metalic.

Metalizarea suprafeței pieselor injectate se poate realiza în două moduri: metalizarea suprafeței din față a piesei și din spatele piesei (*fig.8.15*).

Metalizarea se poate realiza atât pe întreaga suprafață a pieselor (de jur împrejur) cât și numai pe anumite fețe. Se pot metaliza în condiții bune piesele injectate din: polistiren, ABS, polimetacrilat de metil, acetat de celuloză, policarbonat. Piesele injectate din poliolefine se metalizează mai greu necesitând pretratarea cu flacără, acid sau vapori de solvenți.

La proiectarea pieselor injectate care vor fi metalizate trebuie să se țină seama de posibilitățile tehnice de realizare a peliculei metalice și de posibilitățile de prindere a pieselor pentru metalizare.

Metalizarea pieselor injectate se aplică în industria de automobile, industria electronică și electrotehnică, articole cosmetice, jucării.

8.3.2. Depunerea chimică

Piesele injectate din materiale plastice pot fi metalizate prin acoperirea suprafeței lor prin procedeul de depunere electrochimică (galvanizare).

Piesele galvanizate prezintă o serie de avantaje:

- sunt mai ușoare decât piesele din metal;
- execuția acestei piese este mai economică decât a unei piese din metal;
- rezistența mecanică a unei piese galvanizate este mai mare decât a unei piese injectate obișnuite;
- capacitatea de absorbție a umidității a unei piese galvanizate este mai redusă față de o piesă injectată obișnuită;
- stabilitatea termică a unei piese galvanizate este mult mărită față de de o piesă injectată obișnuită;

- coroziunea chimică a unei piese galvanizate este mult mai mare decât la o piesă injectată.

Materialele plastice intră în categoria materialelor electric neconductive. Prin galvanizarea lor ele trebuie făcute bune conducătoare de electricitate. Metalizarea pieselor injectate presupune următoarele operații: tratamentul preliminar, conductivizarea suprafeței și galvanizarea.

Tratamentul preliminar. Operațiile de tratament preliminar folosesc comportarea chimică diferită a materialelor pentru a obține o aderență ireproșabilă a stratului de metal pe piesa injectată. O desfășurare tipică a procedeului presupune următoarele operații tehnologice: decapare, neutralizare, preactivare, activare. Această operație se mai numește *asperizare*. Asperizarea se realizează cu ajutorul unor soluții chimice [3]. Materialele plastice se comportă diferit în raport cu aderența metalului. Sunt foarte recomandabile pentru galvanizare piesele injectate din ABS.

Pentru piesele injectate din poliamidă se realizează cu greu o aderență corespunzătoare. Piesele injectate din poliamidă cu fibră de sticlă sau cu umpluturi minerale se pot însă galvaniza în bune condiții.

Piesele injectate din poliolefine nu sunt indicate pentru galvanizare deoarece nu se poate realiza aderența corespunzătoare între suprafața piesei și metal.

Pentru galvanizare sunt recomandate piese injectate din amestecuri de polimeri.

Pentru obținerea unei bune aderențe a metalului pe materialul plastic un rol hotărâtor îl joacă calitatea piesei injectate (calitatea suprafeței, lipsa tensionărilor interne).

De o foarte mare importanță pentru realizarea unei bune galvanizări o are designul pieselor injectate [11, 14]. Se recomandă evitarea găurilor adânci sau înfundate, profilele exagerate, suprafețele mari și netede, muchiile ascuțite. Se va căuta ca muchiile să fie rotunjite (*fig.8.16*).

Conductivizarea suprafeței. Suprafața pieselor asperizate este necesar să fie făcută electric conductibilă. Aceasta se efectuează prin depunere metalică fără curent, într-o soluție de sare metalică.

Galvanizarea. După conductivizarea suprafeței pieselor injectate, acestea se montează în dispozitivele de galvanizare și se face depunerea galvanică a stratului de metal în băile galvanice. În băile galvanice se pot depune, ca materiale de acoperire, nichelul sau cromul. În cazul pieselor ornamentale grosimea straturilor metalice poate fi aleasă după dorință.

8.3.3. Vopsirea și lăcuirea

Pentru obținerea unor colorări de suprafață sau pentru protecție, piesele injectate pot fi supuse operației de vopsire sau lăcuire.

Vopsirea sau lăcuirea pieselor injectate se poate realiza prin mai multe procedee:

- imersiune; acest procedeu dă o bună acoperire, cu un minim de pierdere de material, dar grosimea peliculei de vopsea este neuniformă;
- pulverizare; pulverizarea se realizează cu aer comprimat sub nișe, discontinuu, sau prin instalații de pulverizare pe bandă în procedeu continuu;
- vopsire cu pensula; acest procedeu este simplu ca tehnică dar se caracterizează printr-o productivitate slabă.

Uscarea stratului de vopsea sau de lac se face cu aer sau în cuptor. Vopselele sau lacurile sunt specifice materialului piesei injectate, deoarece unii solvenți atacă anumite materiale plastice.

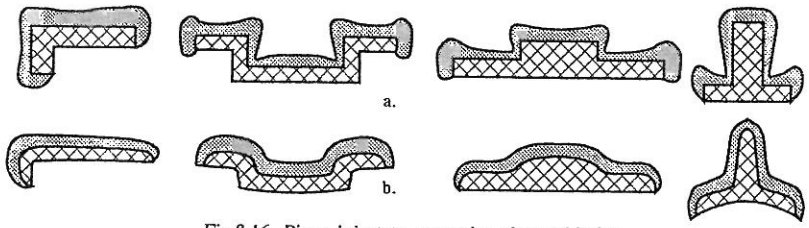


Fig.8.16. Piese injectate acoperite electrochimic:
a - piese concepute incorect; b - piese concepute corect.

BIBLIOGRAFIE

1. *Danát, B.* Müanyagfeldolgozas technologiaja. Müszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
2. *** Durethan. Beschreibung der Typen. Broșura firmei Durethan, Januar, 1961.
3. *Gut, H.* Nomogramme für die Spangebende Bearbeitung von Kunststoffen. Plastverarbeiter, nr. 7, 1974.
4. *** L'usinage de l'Akulon. Broșura firmei Plastrading Ltd, avril, 1966.
5. *Lăzărescu, T., Abrudan, G., Bejan, E., Steţium G.* Aşchierea şi scule aşchietoare. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1976.
6. *** Matieres plastiques. Hoechst. Polioléfines renforcées: Hostalen, Hostalen PP. Broșura firmei Hoechst, juin, 1978.
7. *** Matières plastiques Hoechst. Hostaform. Broșura firmei Hoechst, mai, 1981.
8. *Seidenspinner, M.* Probleme bei der Metallisierung von Polyamid. Galvanotechnik, nr. 7, 1984.
9. *Böcklein, M., Eckardt, H.* Dekorieren von Spritzgussteilen im Werkzeug. Kunststoffe, nr. 11, 1986.
10. *Wolf, G., D, Fünger, F.* Metallisierte Polyamid-Spritzgussteile. Kunststoffe, nr. 5, 1989.
11. *Kut, S.* La decoration des plastiques par métallisation sous vide. Plastiques Modernes et Elastomères, octobre, 1967.
12. *Roberto, O., E., Arcitesi, D., A., Hadley, J., S.* Stromlose Abscheidung auf Kunststoffen für functionelle Zwecke. Galvanotechnik, nr. 8, 1974.
13. *Panait, G.* Galvanizarea materialelor plastice. Materiale plastice, nr. 1, 1969.
14. *Stoeckhert, K.* Veredeln von Kunststoffoberflächen. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1974.
15. *** Emballages Magazine, ian-febr, 1987.

9. Date utile

În acest capitol se oferă date suplimentare care contribuie la înțelegerea noțiunilor prezentate în capitolele anterioare.

O serie de tabele explică noțiunile generale prezentate în carte, notații și relații de echivalență între unitățile de măsură în sistemul internațional, unități tolerate, prefixe în sistemul internațional (*tab.9.1...tab.9.5*) [1].

O altă serie de tabele prezintă noțiuni specifice materialelor termoplastice: abrevieri, standarde românești de materiale plastice (*tab.9.6...tab.9.7*) [1, 2].

Capitolul face completări de asemenea la datele specifice tehnologiei de injectare: mașini de injectat, roboți, matrițe de injectat, etc. (*tab.9.8...tab.9.12*) [3...21].

Tab.9.1. **Alfabetul grecesc.**

alfa	A, α	epsilon	E, ε	iota	I, ι	niu	N, ν	ro	P, ρ	fi	Φ, φ
beta	B, β	zeta	Z, ζ	kapa	K, κ	xi	Ξ, ξ	sigma	Σ, σ	hi	X, χ
gama	Γ, γ	eta	H, η	lambda	Λ, λ	omicron	O, o	tau	T, τ	psi	Ψ, ψ
delta	Δ, δ	teta	Θ, θ	miu	M, μ	pi	Π, π	ipsilon	Y, υ	omega	Ω, ω

Tab.9.2. **Multiplii și submultiplii unităților de măsură.**

Prefixul	Simbolul	Valoarea	Prefixul	Simbolul	Valoarea
tera	T	10^{12}	centi	c	10^{-2}
giga	G	10^{9}	mili	m	10^{-3}
mega	M	10^{6}	micro	μ	10^{-6}
kilo	k	10^{3}	nano	n	10^{-9}
hecto	h	10^{2}	pico	p	10^{-12}
deca	da	10	femto	f	10^{-15}
deci	d	10^{-1}	atto	a	10^{-18}

Tab.9.3. **Sistemul internațional de unități.**

Mărime	Denumire	Simbol
Unități fundamentale		
lungime	metru	m
masă	kilogram	kg
timp	secundă	s
intensitate a curentului electric (sinonim: curent electric)	amper	A
temperatură termodinamică	kelvin	K
cantitate de substanță	mol	mol
intensitate luminoasă	candelă	cd
Unități suplimentare		
unghi plan	radian	rad
unghi solid	steradian	sr

Tab.9.3. Continuare.

Mărime	Denumire	Simbol (formulă)	Expresie în unităţi SI fundamentale şi derivate
1	2	3	4
Unităţi derivate			
a. unităţi ale mărimilor de spaţiu şi timp.			
arie	metru pătrat	m^2	m^2
volum	metru cub	m^3	m^3
viteză	metru pe secundă	m/s	$m \cdot s^{-1}$
acceleraţie	metru pe secundă la pătrat	m/s^2	$m \cdot s^{-2}$
viteză unghiulară	radian pe secundă	rad/s	$s^{-1} \cdot rad$
acceleraţie unghiulară	radian pe secundă la pătrat	rad/s^2	$s^{-2} \cdot rad$
b. unităţi ale mărimilor caracteristice fenomenelor periodice şi conexe.			
număr de undă	unu pe metru	m^{-1}	m^{-1}
frecvenţă hertz	Hz	s^{-1}	
c. unităţi ale mărimilor caracteristice mecanice.			
masă volumică (densitate)	kilogram pe metru cub	kg/m^3	$m^{-3} \cdot kg$
forţă	newton	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
presiune (tensiune mecanică)	pascal	Pa (N/m^2)	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^2$
vâscozitate dinamică	pascal secundă	$Pa \cdot s$	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
vâscozitate cinematică	metru pătrat pe secundă	m^2/s	$m^2 \cdot s^{-1}$
lucru mecanic (energie)	joule	J ($N \cdot m$)	$m^2 \cdot kg^{-2}$
putere	watt ($N \cdot m$) W	$m^2 \cdot kg^{-2}$	
moment al forţei	newton metru	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-1}$
tensiune superficială	newton pe metru	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
d. unităţi ale mărimilor caracteristice electricităţii şi magnetismului.			
sarcină electrică; cantitate de electricitate	coulomb	C	$s \cdot A$
potenţial electric; diferenţă de potenţial electric; tensiune electromotoare	volt	V (W/A)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
intensitate a câmpului electric	volt pe metru	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
rezistenţă (în curent continuu); rezistenţă electrică	ohm	Ω (V/A)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
conductanţă (în curent continuu)	siemens	S (A/V)	
capacitate (electrică)	farad	F (C/V)	$m^{-2} \cdot kg \cdot s^4 \cdot A^2$
intensitatea câmpului magnetic	amper pe metru	A/m	$m^{-1} \cdot A$
flux magnetic; flux de inducţie magnetică	weber	Wb ($V \cdot s$)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
inducţie magnetică	tesla	T (Wb/m^2)	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
inductanţă	henry	H (Wb/A)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
permeabilitate	henry pe metru	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
permitivitate	farad pe metru	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
e. unităţi ale mărimilor caracteristice căldurii.			
temperatură	grad celsius	°C	K
cantitate de căldură	joule	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
conductivitate termică	watt pe metru kelvin	W/(m · K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
capacitate termică masică	loule pe kilogram kelvin	J/(kg · K)	$m^2 \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
entropie joule pe kelvin	J/K $m_2 \cdot kg \cdot s^2 \cdot K^{-1}$		
f. unităţi ale mărimilor caracteristice luminii şi radiaţiilor electromagnetice conexe.			
intensitate energetică	watt pe streradian	W/sr	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot sr^{-1}$
flux luminos	lumen	lm	cd · sr
luminanţă candelă pe metru pătrat	cd/m^2	$m^{-2} \cdot cd$	
iluminare lux	lx	(lm/m^2)	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$

Tab.9.3. Continuare.

1	2	3	4
g. unităţi ale mărimilor caracteristice radiaţiilor ionizate.			
activitate (a unui radionuclid)	becquerel	Bq	s^{-1}
doză absorbită	gray	Gy	$m^2 \cdot s^{-2}$
echivalent de doză absorbită	sievert	Sv	$m^2 \cdot s^{-2}$

Tab.9.4. **Unităţi tolerate ale sistemului internaţional de unităţi.**

Mărime	Denumire	Simbol	Valoare
măsură comercială de volum	litru	l	$1\ l = 10^{-3}\ m^3$
măsuri de presiune	bar	bar	$1\ bar = 10^5\ N/m^2$
	atmosferă fizică	atm	$1\ atm = 101325\ N/m^2$
	atmosferă tehnică	at	$1\ at = 9{,}80665 \cdot 10^4\ N/m^2$
măsuri termotehnice	calorie	cal	1 cal = 4,1868 J
	thermie	th	$1\ th = 4{,}1855 \cdot 10^6\ N/m^2$
	frigorie	fg	$1\ fg = 4{,}1855 \cdot 10^3\ N/m^2$
măsură electrică	electrovolt	eV	$1\ eV = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J
temperatură în sistem termic	grad Celsius	°C	1 K = 273,15 °C

Tab.9.5. **Relaţii de echivalenţă între diferite unităţi de măsură.**

Căldură specifică

1 cal/g°C = 4,1868 · 10^3 J/kg · K = 4,1868 kJ/kg · °C;

Coeficient de transfer de căldură

1 $W/m^2 \cdot °C$ = 1 J/s · m^2 · K = 1 $W/m^2 \cdot K$;

1 kcal/h · m^2 · °C = 1,163 $W/m^2 \cdot °C$;

Conductivitate termică

1 cal/s · cm · °C = 418,68 W/m · °C = 418,68 J/s · m · K;

1 kcal/h · m · °C = 1,163 W/m · °C = 1,163 J/s · m · K;

Energie (căldură, lucru mecanic, electricitate)

1 erg = 10^{-7} J = 1,02 · 10^{-8} kgf · m = 2,39 · 10^{-8} cal;

1 J = 4,1855 · 10^{-7} erg = 4,1855 J = 0,427 J = 0,427 kgf · m = 1,1628 · 10^{-6} kWh;

1 kWh = 3,6 · 10^6 J = 3,672 · 10^5 kgf · m = 3,6 · 10^{13} erg = 860 kcal;

Flux de căldură

1 W/m^2 = 1 J/s · m^2 = 1 cal/s · cm^2 = 4,1868 · 10^4 J/s · m^2;

Forţă

1 kgf = 9,81 · 10^5 dyn = 9,81 N;

1 N = 0,102 kgf = 10^5 dyn;

1 dyn = 10^{-5} N = 1,02 · 10^{-6} kgf;

Presiune

1 Pa = 1 N/m^2 = 10^{-5} bar = 10 barye = 1,019 · 10^{-5} at = 0,987 · 10^{-5} atm = 0,075 torr;

1 kgf/cm^2 = 1 at = 98066,5 N/m^2 = 735,559 torr;

Putere

1 CP = 75 kgf · m/s = 735,499 W = 735,499 · 10^7 erg/s;

1 W = 0,102 kgf · m/s = 1,36 · 10^{-3} CP = 10^7 erg/s = 1 kgf · m/s = 1,33 · 10^{-2} CP;

Temperatură

$T_{(K)} = t_{(°C)} + 273{,}15 = 5/9\ [t_{(°F)} - 32] + 273{,}15$;

$t_{(°C)} = t_{(K)} - 273{,}15 = 5/9\ [t_{(°F)} - 32]$;

$t_{(°F)} = 5/9\ [(T_{(K)} - 273{,}15] + 32 = 5/9\ [t_{(°C)} + 32]$.;

Vâscozitate (absolută, dinamică)

1 g/cm · s (Poise) = 0,1 N · s/m^2;

1 N · s/m^2 = 0,1019 kgf · s/m^2;

1 kgf/m · h = 2,7778 · 10^{-4} N · s/m^2 = 0,27778 CP.

Tab.9.6. **Abrevieri ale unor materiale termoplastice uzuale.**

Material termoplastic	Abrevieri în limba			
	română	germană	engleză	franceză
Acrilonitril-butadien-stiren copolimer	ABS	ABS	ABS	ABS
Acetat de celuloză	CA	CA	CA	AC
Acetobutirat de celuloză	CAB	CAB	CAB	CAB
Etil celuloză	EC	EC	EC	EC
Poliacetal (Polioximetilen)	POM	POM	POM	POM
Poliamida	PA	PA	PA	PA
Poliariletercetona		PAEK	PAEK	PAEK
Polietercetona		PEK	PEK	PEK
Poliarilsulfona	PALS			PAS
Polibutilentereftalat	PBT	PBTP	PBTP	PBTP
Policarbonat	PC	PC	PC	PC
Policlorură de vinil clorurată	PVC-C	PVCc		PVC-C
Policlorură de vinil plastifiată	PVC-M	PVCw		PVC-P
Policlorură de vinil rigidă	PVC-D	PVch		PVC-U
Policlorură de viniliden	PVDC	PVDC	PVDC	PVDC
Policlortrifluoretilena	PCTFE	PCTFE	PCTFE	PCFE
Polietilena de joasă densitate	PEJD	LDPE	LDPE	PE-LD
Polietilena de înaltă densitate	PEID	HDPE	HDPE	PE-HD
Polieterestercetona		PEEK	PEEK	PEEK
Polieterestercetoncetona		PEEKK	PEEKK	PEEKK
Polietersulfona	PES	PES	PES	PES
Polieter clorurat	PEC			
Polietilentereftalat	PET	PETP	PET	PETP
Polifenilenoxid	PPO	PPO	PPO	PPO
Polifluorura de vinil	PVF	PVF	PVF	PVF
Polifluorura de viniliden	PVDF	PVDF	PVDF	PVDF
Polifenilensulfura	PPS	PPS	PPS	PPS
Polimer pe bază de cristale lichide	LCP	LCP	LCP	LCP
Polimetacrilat de metil	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA
Polimetilentereftalat	PMT	PMTP		PMTP
Polipropilena	PP	PP	PP	PP
Polistiren de uz general	PS	PS	PS	PS
Polistiren rezistent la șoc	PAS	SB		SB
Politetrafluoretilenă	PTFE	PTFE	PTFE	PTFE
Polisulfona	PSU	PSU	PSU	PSU
Poliuretan termoplastic	PU	PUR	PUR	PUR
Polivinil butiral	PVB	PVB	PVB	PVB
Polivinil formal	PVFM	PVF	PVF	PVF
Stiren acrilonitril copolimer	SAN	SAN	SAN	SAN

Tab.9.7. **Sinteză de standarde românești de materiale plastice.**

Nr.	Denumire
1	2
1. Terminologie și simbolizare	
8483-79	Materiale plastice. Terminologie.
12789-89	Materiale plastice. Procedee de sudare. Clasificare și terminologie.
2. Materiale plastice în general. Metode de analiză și încercări.	
SR ISO 1133-94	Materiale plastice. Determinarea indicelui de fluiditate la cald a materialelor termoplastice, în masă (MFR) și în volum (MVR).
SR ISO 1210-93	Materiale plastice. Determinarea caracteristicilor de inflamabilitate a

Tab.9.7. Continuare.

1	2
	materialelor plastice sub formă de epruvete mici supuse unei flăcări mici.
SR ISO 3915-93	Materiale plastice. Determinarea rezistivității materialelor plastice conductoare.
STAS 5690-80	Materiale plastice. Determinarea absorbției de apă.
STAS 5691-80	Materiale plastice. Determinarea absorbției de apă în fierbere.
STAS 5794-80	Materiale plastice. Atmosfere standard pentru condiționare și încercare.
STAS 5801-86	Materiale plastice rigide. Determinarea rezistenței la șoc Charpy.
STAS 5870-73	Materiale plastice. Analiza granulometrică.
STAS 5871-75	Materiale plastice. Determinarea durității prin penetrare cu bilă.
STAS 5872-76	Materiale plastice. Determinarea temperaturii de încovoiere sub sarcină.
STAS 5873-83	Materiale plastice. Determinarea caracteristicilor de compresiune.
STAS 5874-83	Materiale plastice. Determinarea caracteristicilor de încovoiere a materialelor plastice rigide.
STAS 6174-73	Materiale plastice. Determinarea stabilității termice prin metoda Martens.
STAS 6175-80	Materiale plastice. Determinarea rezistenței la șoc cu aparatul Dynstat.
STAS 6216-80	Materiale plastice. Determinarea pierderilor de plastifianți. Metoda cu cărbune activ.
STAS 6339-60	Materiale plastice. Determinarea rezistenței la acțiunea agenților chimici.
STAS 6572/1-79	Materiale plastice. Formarea epruvetelor din materiale termoplastice prin injecție. Prescripții generale.
STAS 6642-73	Materiale plastice. Determinarea caracteristicilor de tracțiune.
STAS 6807-63	Materiale plastice. Determinarea migrării plastifianților.
STAS 6921-64	Materiale plastice. Determinarea punctului de înmuiere Vicat.
STAS 7405-88	Materiale plastice. Determinarea uzurii prin abraziune. Metode cu cilindru abraziv.
STAS 7574-83	Materiale plastice. Determinarea rezistenței la acțiunea mucegaiurilor.
STAS 7614-88	Materiale plastice. Determinarea caracteristicilor vâscozimetrice ale polimerilor în soluții diluate. Condiții generale.
STAS 7724-67	Materiale plastice. Determinarea granulației prin cernere sub curent de apă.
STAS 7799-67	Materiale plastice. Determinarea migrării coloranților.
STAS 8643-70	Materiale plastice. Determinarea durității penetrației cu durometrul Shore.
STAS 8668-70	Materiale plastice. Determinarea temperaturii de degajare de gaze inflamabile.
STAS 8759-86	Materiale plastice. Metode de expunere la lumină artificială.
STAS 8826-72	Materiale plastice. Determinarea durității Rockwell.
STAS 9046-81	Materiale plastice. Determinarea fluajului la tracțiune.
STAS 9182-73	Materiale plastice. Determinarea rezistenței la forfecare.
STAS 9289-73	Materiale plastice. Determinarea temperaturii de aprindere și autoaprindere.
STAS 9554-87	Materiale plastice. Metode de expunere la îmbătrânire naturală.
STAS 9594-74	Materiale plastice. Determinarea rigidității la torsiune în funcție de temperatură.
STAS 9595-74	Materiale plastice. Determinarea indicelui de refracție a materialelor plastice transparente.
STAS 9657-83	Materiale plastice. Determinarea proprietăților dinamice cu pendulul de torsiune.
STAS 9737-74	Materiale plastice. Determinarea stabilității la lumină naturală.
STAS E1294-84M	Materiale plastice. Determinarea contracției materialelor destinate formării prin injecție.
STAS 12321-85	Materiale plastice. Determinarea combustibilității prin metoda indicelui de oxigen.
STAS 12432-86	Materiale plastice. Evaluarea efectelor îmbătrânirii naturale și artificiale.
3. Materiale termoplastice	
STAS 6641-83	Policolrură de vinil tip S.
STAS 6746-63	Materiale plastice. Determinarea stabilității termice a policlorurii de vinil, a copolimerilor și a compușilor lor prin metoda schimbării la culoare.
STAS 7397-91	Policlorură de vinil tip GE.

Tab.9.7. Continuare.

1	2
STAS 7725-67	Materiale plastice. Determinarea conținutului de apă în poliamide.
STAS 7798-67	Materiale plastice. Policlorură de vinil. Determinarea apei și a substanțelor volatile.
STAS 7861-80M	Polistiren rezistent la șoc.
STAS 7862-80M	Polistiren.
STAS 8179/2-74M	Polietilenă de joasă densitate granulată. Condiții tehnice generale de calitate.
STAS 8179/3-79	Polietilenă de joasă densitate granulată. Metode de analiză.
STAS 8869-84	Granule rigide din policlorură de vinil pentru țevi, fitinguri, tuburi electroizolante și accesorii.
STAS 9238-89	Granule de poliamidă 6 pentru injecție.
STAS R9454-73	Materiale plastice. Granule din policlorură de vinil plastifiată. Clasificare.
STAS 9522-74	Materiale plastice. Determinarea punctului de topire a poliamidelor.
STAS 10024-75	Copolimer acrilonitril-butadien-stirenic.
STAS 11141-84	Granule din policlorură de vinil pentru încălțăminte.
STAS E12378-85M	Materiale plastice. Polistiren. Codificare.
STAS E12471-86	Materiale plastice. Policarbonat. Clasificare.
STAS 12472-86	Materiale plastice. Polietilenă. Metodă de determinare a stabilității de degradare termo-oxidativă.
STAS 12633-88	Polietilenă de înaltă densitate granulată.

Tab.9.8. **Firme producătoare de materiale termoplastice pentru injectare.**

Firma	Țara	Materiale
1	2	3
PETROTEL	România	PS, ABS, PP
CHIMCOMPLEX	România	PAS, PS
PETROMIDIA	România	PEJD, PEID, PP (Midelena).
ARPECHIM	România	PEJD (Argetena I), PEID (Argetena J) PS (Polistiren G), PAS (polistiren PAS1)
OLTCHIM	România	PVC
ALTULOR	Franța	PMMA (Vedril)
DU PONT DE NEMOURS	SUA	PMMA (Lucite) PET (Rynite) POM (Delrin) PEID, PEJD (Alathon) elastomer termoplastic (Hytrel) polietilene speciale (Alathon 20) ionomer polietilenic (Surlyn) PTFE (Teflon) P6.6, PA.6.12, (Zytel) poliamidă cu umplutură minerală (Minlon) diverși polimeri modificați polimeri pe bază de cristale lichide
HOECHST	Germania	PS (Hostyren N) PAS (Hostyren S) PEID (Hostalen) PEJD (Hostalen LD) PP (Hostalen PP)

Tab.9.8. Continuare.

1	2	3
		POM (Hostaform, Kematal) PA.6.6 (Celanese Nylon) PBT (Celanex) PVC (Hostalit) PVC modificat (Hostalid Z) polimeri pe bază de cristale lichide (Vextra) polimeri fluorurați (Hostaflon) PPS (Fortron) PAEK (Hostatec) polimeri modificați polimeri armați cu fibră de sticlă
SNIA	Italia	POM (Sniatal) PA.6 (Sniamid) Poliacetal copolimer (Sniatal)
MITSUI PETROCHEMICAL	Japonia	PP homopolimer și copolimer (MPC POLYPRO)
DOW CHEMICAL	SUA	SAN (Tyril) ABS (Magnum) PS (Styron) PC (Calibre) PEID (Dow HDPE) PEJD (Dow LDPE) PC/ABS (Pulse)
CELANESE	SUA	PEID PEJD PBT (Celanex)
RHONE-POULENC	Franța	PA.6.6 (Technyl A) PA.6.6.6 (Technyl B) PA.6 (Technyl C) PA.6.10 (Technyl D) PET (Techster) PBT (Techster T)
GENERAL ELECTRIC	SUA	PC (Lexan) PPO (Noryl) PBT (Valox) polimeri armați cu fibră de sticlă (Lexan, Noryl, Valox) aliaje de PC și ABS (Cycoloy) ABS (Cycolac/Ugikral) PPS (Supec)
FINA CHEMICALS	Belgia	
HULLS	Germania	PA 12 (Vestamid L) PA 6.12 (Vestamid D) poliamide cu elastomer (Vestamid E) poliamidă transparentă (Trocamid) PBTP (Vestodur) compound poliamidă-polipropilenă (Vestoblend) PEID (Vestolen A) PP (Vestolen P) PS (Vestyron) PVC (Vestolit) PA armată cu fibră de sticlă

Tab.9.8. Continuare.

1	2	3
		PBT armate cu fibre de sticlă polifenilen eter (Vestoran) PMMA (Vestiform)
BAYER	Germania	CA, CAB, propinatul de celuloză (CELLIDOR) PA.6, PA.6.6 (Durethan) PC (Makrolon) ABS (Novodur) PBT (Pocan) aliaj de PC şi ABS (Bayblend) polimeri armaţi cu fibră de sticlă diverşi polimeri modificaţi PET (Petlon) PPS (Tedur)
BASF	Germania	PEJD, PEID (Lupolen) PP (Novolen) PVC (Vinoflex) PS, PAS (Polystyrol) PMMA (Lucryl) SAN (Luran) ABS (Terluran) PA (Ultramid) POM (Ultraform) PBT (Ultradur) PEK (Ultrapek), PAEK (Ultrapek) polimeri modificaţi polimeri armaţi cu fibră de sticlă aliaje diverse (Luranyl, Ultranyl) PUR (Elastollan) PES (Ultrason E)
MONTEL (Shell şi Montedison)		PP PEID PEJD
EMS-CHEMIE	Elveţia	PA 6 (Grilon) PA 12 (Grilamid) PA 6.6 (Grilon T) PA transparentă (Grilamid TR) copoliamidă (Grilon C) aliaje de polimeri PET (Grilpet)
RMP	Franţa	PA 6, PA 6.6 modificate (Rocamide) PA 6 şi PA 6.6 armate cu fibră de sticlă (Rocamide) PP cu încărcătură minerală (Rocalene) PP cu fibră de sticlă sau bile de sticlă (Rocalene) ABS (Rocamid) PEBT (Rocamid) PC (Rocamid)
BOREALIS	Danemarca	PEID, PEJD (Polyethylene) PP homopolimer şi copolimer (Polypropylene)
EXXON CHEMICAL	Belgia	PEID, PEJD, PP (Escorene) polimeri speciali (Escorene α) olefine termoplastice (Vistaflex)

Tab.9.8. Continuare.

1	2	3
		elastomeri termoplastici (Trefsin) polimeri modificaţi de PE, PP, PA şi PC (Exxelor) materiale termopalstice armate cu fibră de sticlă (Taffen)
ELF ATOCHEM	Franţa	PVF (Forafon) PA 6 (Orgamide) PA 6 cu fibră de sticlă ABS (Arradur) PS (Lacqrene) PBT (Orgater) PA.12 (Rilsan A) PA.11 (Rilsan B) PCTFE (Voltalef)
MITSUBISHI PETROCHEMICAL	Japonia	PP (Noblene) PEID (Hi-Zex) ABS (Shinkolac, Diapet) PMMA (Acrypanel)
ICI	Anglia	PP (Propathene) PA.6, PA.6.6, PA.6.10 (Maranyl) PES (Victrex PES) PMMA (Diakon, Perspex) POM (Vertron) PET (Pet/Melinar) PPS (Vertron) PP armată (Procom)
AMOCO CHEMICALS	SUA	PP (Polypropylene) PES PAEK (Kadel EP)
AKZO PLASTICS	Germania	PET (Arnite A) PBT (Arnite T) poliesteri termoplastici armaţi cu fibră de sticlă CA (Setilithe) PA (Akulon) PA 6.6 (Akulon S)
DSM	Olanda	PEJD (Stamylan LD) PEID (Stamylan HD) PE (Stamylex) PP (Stamylan P) ABS (Ronfalin) PA 4.6 (Stanyl) PC (Xantar) aliaj de ABS/PC (Staprom C) material cu proprietăţi de barieră electromagnetică şi antistatizare (Faradex) materiale speciale (Keltan TP) materiale cu încărcătură minerală
ALBIS	Germania	PA 6 (Albis PA 6) PA 6.6 (Albis PA 6.6) PA 6 şi PA 6.6 armate cu fibră de sticlă PC armat cu fibră de sticlă şi fibră de metal PP modificată şi cu umpluturi diverse ABS armat cu bile de sticlă

Tab.9.8. Continuare.

1	2	3
		PMMA cu fibră de sticlă PPS (Tedur) POM (Albis polyacetal)
SOLVAY	Belgia	PVC (Solvic) PEID (Eltex) PP (Eltex P) homoplimer, copolimer, copolimeri cu rezistență medie, înaltă și foarte înaltă la impact PFVD (Solef) homopolimer și copolimer PPS (Primef) compounduri cu fibră de sticlă
CIBA-GEIGY	Elveția	PBT (Crastin) PPS (Craston) PA (Pentamid)
MONSANTO	SUA	SAN (Lustran S) ABS (Lustran) PA 6.6 (Vydyne) ABS/PA (Triax 1000) ABS/PC (Triax 2000)
AMOCO CHEM.	SUA	PSU (Udel)
ASAHI	Japonia	PPS (Asahi PPS) PMMA (Delmer, Delpet) POM (Tenac)
TORAY	Japonia	PPS (Torelina) ABS (Toyolac)
PHILIPS PETROLEUM	Olanda	PEID (Marlex) PPS (Ryton, Avtel)
CHEMIE LINZ	Austria	PEJD (Daplen) PEID (Daplen) PP (Daplen)
UNION CARAIBE	USA	PSU (Polysulfone R170) polifenilensulfonă (Radel)
ENICHEM	Italia	ABS (Sinkral, Editer) PS (Edistir) SAN (Kostil) PBT (Pibiter) PC (Sinvet) ABS/PC (Koblend) PA 6 (Nivion Plast)
FERRO	SUA	PA 6 (Starmide 6, Star-C PA.6, Star-L PA 6) PA 6.6 (Starmide 6.6, Star-C PA 6.6, Star-L PA 6.6) PP (Ferrolene, Straflam PP) ABS (Starglas ABS, Starflam ABS) PS (Starflam PS, Star-L PS) POM (Starglas POM, Star-L POM) PBT (Starglas PBT, Star-C PBT) PPO (Star-L PPO) SAN (Starglas SAN, Starflam SAN) PSU (Starglas PSU) aliaje diverse (Starlloy)
APPRYL	Franța	PP homopolimeri și copolimeri

Tab.9.8. Continuare.

1	2	3
LATI	Franța	PPS (Larton) PUR (Lastane) SAN (Lastil) ABS (Lastilac) PS (Lastirol) PSU (Lasulf) PA .6 (Latamid 6) PA 6.6 (Latamid 6.6) POM (Latan) PEID (Latene HD) PP (Latene EP) PBT (Later) PC (Latilon) aliaje diverse

Tab.9.9. **Firme producătoare de mașini de injectat.**

Firma	Tipuri constructive	Caracteristici tehnice
1	2	3
ARBURG (Germania)	Program constructiv în domeniul mașinilor mici. Variante constructive: - Allrounder K; - Allrounder H; - Allrounder D; - Allrounder M; - Allrounder CMD; - Allrounder V.	- forța de închidere: 10...200 tf; - volumul injectat (PS): 20...200 g.
BATTENFELD (Germania)	Program constructiv vast: - seria BA-T sistem de închidere hidraulic cu zăvorâre cu șaibă; - seria BC-T sistem de închidere hidraulic central; - seria BK-T sistem de închidere cu articulație cu dublu genunchi; - mașini speciale; - mașini cu injectare multicomponentă; - mașini cu presiune interioară de gaz.	- forță de închidere: 25...6000 tf; - volumul injectat (PS): 6...67000 g.
BILLION (Franța)	Program constructiv larg: - sistem de închidere cu dublu genunchi și zăvorâre hidraulică (90...320 tf); - închidere prin doi cilindrii hidraulici și zăvorâre hidraulică cu cale (420...2200 tf).	- forță de închidere: 90...2200 tf; - volumul injectat (PS): 70...25500 g.
BM BIRAGHI (Italia)	Variante constructive proiect Sintesi: - închidere cu articulații între 75...650 tf; - închidere cu piston între 100...400 tf; - închidere hidromecanică (HB) între 600...1800 tf; - injectare bicomponentă.	- forță de închidere: 70...1800 tf; - volumul injectat (PS): 122...15932 g.
DR BOY (Germania)	Program constructiv în domeniul mașinilor mici	- forță de închidere: 22...80 tf;

Tab.9.9. Continuare.

1	2	3
		- volumul injectat (PS): 20...240 g.
ENGEL (Austria)	Program constructiv vast. Serii: - HL mașini fără coloane pentru piese cu pereți subțiri și ciclu scurt până la 45 tf; - HL mașini fără coloane până la 400 tf; - mașini cu articulație până la 3200 tf; - mașini cu pernă elastică până la 3600 tf; - mașini cu ciclu rapid (cu și fără coloane) până la 350 tf; - mașini pentru insertare stofă până la 800 tf; - mașini speciale orizontale și verticale până la 200 tf; - mașini cu două platane până la 2700 tf.	- forță de închidere: 20...3600 tf; - volumul injectat (PS): 22...20000 g.
FAHR BUCHER (Germania)	Mașini de injectat diverse.	- forță de închidere: 60...700 tf;
FEROMATIK--MILAKRON (Germania)	Program constructiv larg. Variante constructive: - seria K complet hidraulică cu închidere între 30...450 tf; - Vista VT cu închidere cu pârghii cu dublă articulație între 100...500 tf; - Vista VH cu închidere hidraulică între 220...775 tf; - Vista VL cu închidere hidraulică între 900...3600 tf; - Vista VS cu închidere cu articulații între 30...75 tf; - Elektra complet electrice cu închidere între 300...700 tf; - Vector vertical/orizontale cu închidere între 80...227 tf; - mașini speciale injectare: multicomponentă, multicoloră.	- forță de închidere: 30...360 tf; - volumul injectat (PS): 20...32000 g.
HUSKY (Canada)	Program constructiv variat: - mașini de injectat diverse (orizontale, verticale); - mașini pentru injectare multicomponentă.	- forță de închidere: 160...3650 tf; - volumul injectat (PS): 220...12255 g.
ITALTEH (Italia)	Program vast în domeniul mașinilor mari: - seria MST sistem de închidere cu articulații; - seria MSH sistem de închidere hidromecanic central; - seria MSH sistem de închidere hidromecanic cu 4 coloane; - mașini speciale; - mașini multicolore.	- forță de închidere: 500...5500 tf; - volumul injectat (PS): 1230...123000 g.
JAPAN STEEL WORKS (Japonia)	Mașini de injectat diverse.	- forță de închidere: 50...6000 tf;
KRAUS--MAFFEI (Germania)	Program constructiv larg. - seria C închidere cu pârghii între 40...200 tf; - seria B închidere hidraulică între 60...1000 tf;	- forță de închidere: 40...6400 tf; - volumul injectat (PS): 30...39000 g.

Tab.9.9. Continuare.

1	2	3
	- seria M închidere hidraulică între 1000...6400 tf; - mașini cu injectare multicomponentă; - linii tehnologice de injectat; - mașini pentru sistemul de injectare cu gaz.	
MITSUBISHI (Japonia)	Mașini de injectat diverse.	- forță de închidere: 15...6000 tf;
NEGRI BOSSI (Italia)	Mașini de injectat diverse cu sistem de închidere cu pârghii: - seria NB cu forță de închidere între 40...1000 tf; - seria NB-SV mașini de mare productivitate cu forța de închidere între 40...250 tf; - seria NB-TEC pentru tehnopolimeri, cu forța de închidere între 62...400 tf; - seria NB mașini mari, cu forța de închidere între 550...1350 tf.	- forță de închidere: 40...1350 tf; - volumul injectat (PS): 50...8120 g.
NESTAL (Elveția)	Mașini de injectat diverse.	- forță de închidere: 40...350 tf;
OIMA (Italia)	Mașini de injectat diverse (seria Stratos). Sistem de închidere cu pârghii.	- forță de închidere: 651...850 tf; - volumul injectat (PS): 105...7740 g.
SK (Germania)	Mașini de injectat diverse. - seria SK-K sistem de închidere cu brațe între 100...400 tf; - seria SK-H sistem de închidere hidraulic între 500...800 tf.	- forță de închidere: 100...800 tf; - volumul injectat (PS): 127...10250 g.
SANDRETTO (Italia)	Mașini de injectat diverse.	- forță de închidere: 30...5500 tf;
STORK (Olanda)	Mașini de injectat diverse.	- forță de închidere: 21...2000 tf;
TOSHIBA (Japonia)	Mașini de injectat diverse.	- forță de închidere: 30...5000 tf;
TOYO (Japonia)	Mașini de injectat diverse.	- forță de închidere: 15...450 tf;
JON WAI (Taiwan)	Program constructiv larg: - seria SP sistem de închidere cu articulații cu dublu genunchi; - seria HC sistem de închidere hidraulic; - seria SG.	- forță de închidere: 55...2700 tf;
MAICO (Italia)	- seria Corsa sistem de închidere cu genunchi cu forța de închidere 450...1800 tf; - seria Tek.	
NUOVA-PLASTIC METAL (Italia)		- forță de închidere: 250...220 tf.
REMU (Italia)	Produce mai multe serii: - NL/MI închidere cu articulații	- forță de închidere: 100...6000 tf;

Tab.9.9. Continuare.

1	2	3
	cu forţa de închidere între 700...3000 tf; - HS închidere cu articulaţii cu forţa de închidere între 100...550 tf; - TSX închidere cu articulaţii cu forţa de închidere între 700...2200 tf; - HMSY închidere hidromecanică cu forţa de închidere între 650...6000 tf; - MCM închidere cu articulaţii şi masă rotitoare pentru injectare 3...4 culori; - DCM.	
HEMSCHEID (Germania)	Maşini diverse: - maşini orizontale cu închidere hidraulică cu forţa de închidere între 50...3000 tf; - maşini diverse cu închidere orizontală şi injectare verticală, închidere verticală şi injectare orizontală, etc.	- forţă de închidere: 50...5000 tf;
MIR (Italia)	Program constructiv larg: - seria HMP sistem de închidere hidraulic; - seria RMP sistem de închidere cu pârghii; Maşinile sunt grupate pe familii: - MPO închidere cu pârghii între 25...120 tf; - Futura 2 închidere cu pârghii; - Ecologica din seria HMP şi RMO între 520...620 tf; - alte maşini de injectat speciale.	- forţă de închidere: 25...6000 tf; - volumul injectat (PS): 45...23000 g.
MANNESMANN DEMAG (Germania)	Program constructiv larg: - maşini de injectat orizontale pe mai multe serii. Ultima serie Ergotech cu forţa de închidere între 125...800 tf; - maşini de injectat în două culori; - maşini pentru injectare multicomponentă; - maşini de injectat cu presiune interioară de gaz; - maşini de injectat speciale.	- forţă de închidere: 40...6400 tf; - volumul injectat (PS): 30...39000 g.

Tab.9.10. **Firme constructoare de roboţi pentru maşini de injectat.**

Firma	Sisteme constructive	Caracteristici tehnice
1	2	3
BATTENFELD (Germania)	- seria Unirob-A; - seria Unirob-AE; - seria Unirob-B; - seria Unirob-C;	- acţionare electromagnetică şi pneumatică; - masă manipulată max. 50 kg; - număr maxim de axe 6; - precizia de poziţionare ±0,1...±0,5 mm; - comandă Unilog 9000 B.
MANNESMANN--DEMAG (Germania)	- robot tip DR seriile: DR11, DR21, DR22, DR30, DR40, DR50.	- acţionare electromagnetică şi pneumatică; - număr maxim de axe 6; - precizia de poziţionare ±0,1 mm; - microprocesoare NC III.

Tab.9.10. Continuare

1	2	3
BFA (Germania)		
KUKA (Germania)		
REISS (Germania)		
HUSKY (Canada)		- acţionare electromagnetică; - număr maxim de axe 5; - precizia de poziţionare ±0,1 mm; - comandă cu microprocesor.
ENGEL (Austria)		
STRYRAMA (Anglia)	- 200 CN; - 300 CN; - 400 CN.	- acţionare electromagnetică şi pneumatică; - număr maxim de axe 4; - masa manipulată max. 50 kg.
TTW TERMOTECHNIK (Germania)	- seria E2 mişcare în axa *x* şi *y*; - seria SE2 mişcare în axa *x* şi *y* cu cursă mare; - seria 3A mişcare în 4 axe.	Număr maxim de axe 4: - *y* axa verticală; - *x* axa de scoatere; - *z* axa orizontală; - *c* axa de rotire.
WITTMANN (Germania)	Tipuri: - manipulatoare; - roboţi pe 3 axe.	- pentru maşini cu închidere până la 350 tf.
PIOVAN+STAR (Italia)	- aparate de scoatere pentru piese mici; - roboţi flexibili; - roboţi cu 3 axe comandă CNC.	- pentru maşini cu forţa de închidere închidere între 35...4000 tf.
MORETTO (Italia)	- manipulatoare cu braţ seria S, ST-STD.	- acţionare pneumatică.
REMAK (Germania)	- system FI; - system EL; - system DL; - system SL.	- se folosesc pentru maşini între 50...5000 tf; - acţionare pneumatică; - acţionare electromecanică; - 6 axe: 3 rotaţii, 3 translaţii.

Tab.9.11. **Firme constructoare de elemente auxiliare pentru maşini de injectat.**

Firma	Elemente auxiliare
1	2
PIOVAN (Italia)	- instalaţii de temperare; - mori de măcinat; - instalaţii de răcire; - sisteme de uscare; - sisteme de alimentare în pâlnie; - instalaţii de dozare a concentratelor de culoare; - sisteme de amestecare; - sisteme de alimentare centralizate.

Tab.9.11. Continuare

1	2
ALBIS (Germania)	- benzi transportoare; - instalaţii de temperare; - sisteme de transport; - mori de măcinat; - sisteme de răcire; - amestecătoare.
MORETTO (Italia)	- sisteme de alimentare în pâlnie; - sisteme de uscare; - mori de măcinat; - benzi transportoare; - unităţi de dozare.
MOTAN (Germania)	- sisteme de alimentare în pâlnie; - sisteme de uscare; - sisteme de dozare şi amestecare; - sisteme de transport centralizate.
TRIA (Italia)	- mori de măcinare.
GWK (Germania)	- sisteme de răcire a apei (-5...+20°C); - sisteme de temperare a matriţei.
INTERPROIND (Italia)	- sisteme de răcire a apei (-5...+20°C) cu capacitatea între 3000...15000 kcal/h; - alimentatoare în pâlnie; - grilaje magnetice permanente; - sisteme de temperare a matriţei cu apă şi ulei; - turnuri de răcire (35000...1000000 kcal/h).
EUROPLAST (Italia)	- sisteme de răcire; - alimentatoare în pâlnie; - mori de măcinat; - sisteme de temperare a matriţei; - benzi transportoare.
TECHNIBEL (Franţa)	- sisteme de răcire a apei.
TTW TERMOTECHNIK (Germania)	- sisteme de separare a culeelor de piese; - grilaje magnetice permanente în pâlnie; - alimentatoare în pâlnie; - amestecătoare; - uscătoare; - sisteme de colorare; - benzi transportoare.
AEC NELMAR (SUA)	- mori de măcinat de diferite capacităţi şi sisteme constructive.
KOCH-TECHNIK (Germania)	- sisteme de uscare diverse; - sisteme de amestecare.
AZO (Germania)	- sisteme de uscare.

Tab.9.12. **Firme constructoare de matriţe şi elemente pentru matriţele de injectat.**

Firma	Elemente constructive pentru matriţe
1	2
DME (SUA)	Producătoare de elemente tipizate după un program vast: - plăci de matriţe diverse (P, N, D);

Tab.9.12. Continuare.

1	2
	- miezuri de matriţe; - prelucrări speciale; - aruncătoare; - componente de matriţe; - elemente constructive speciale; - elemente pentru sisteme de răcire; - elemente pentru sisteme de încălzire; - materiale pentru curăţare şi finisare; - echipamente şi aparate speciale pentru matriţe.
HASCO (Germania)	Producător de elemente tipizate după un program vast: K - Normalien: plăci cu alezaj având la bază un sistem modular pentru construcţia de matriţe; P - Normalien: plăci fără alezaj pentru construcţia matriţelor şi dispozitivelor; Z - Normalien: accesorii pentru construcţia matriţelor, dispozitivelor şi pentru producţie; T - Normalien: elemente de construcţie standardizate şi normalizate destinate în special fabricării sculelor de tăiere şi poansonare.
STRACK (Germania)	Producător de elemente tipizate.
INCOE (SUA)	Producător de elemente tipizate.
EWIKON (Germania)	Elemente pentru sisteme cu canal cald.
EOC (Germania)	Elemente pentru sisteme cu canal cald.
MOLD MASTERS (Germania)	Elemente pentru sisteme cu canal cald.
GÜNTER (Germania)	Elemente pentru sisteme cu canal cald.

BIBLIOGRAFIE

1. *Horun, S., Păunică, T., Sebe, O., M., Şerban, S.* Memorator de mase plastice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.

2. *Jinescu, V., V.* Proprietăţile fizice şi termomecanice ale materialelor plastice. Editura Tehnică, Bucureşti, 1979.

3. *** Presse ad iniezione. Prospectul firmei Oima.

4. *** Spritzgiessmaschinen. Prospectul firmei Engel, 1990.

5. *** D. Spritzgiessmaschinen Klare Konzepte Überzeugende Leistungen. Prospectul firmei Mannesmann-Demag.

6. *** Demag-Grosspritzgiessmaschinen. Prospectul firmei Mannesmann-Demag.

7. *** Zwei Komponnenten Maschinen DZ-40-DZ-325. Prospectul firmei Mannesmann-Demag.

8. *** Spritzgiessmaschinen D4-D800. Prospectul firmei Mannesmann-Demag.
9. *** Spritzteilentstorung mit integrieren Demag-Robot-System. Prospectul firmei Mannesmann-Demag.
10. *** New series NB. Prospectul firmei Negri Bossi.
11. *** Kurzinformation Allrounderrk Wirtschaftlich durch ausgereifte Technik. Prospectul firmei Arburg.
12. *** Automatisierungstechnik 89/90. Industrierroboter un Werkzeugwekselsysteme. Prospectul firmei Battenfeld, 1989.
13. *** Automazione in BM Biraghi. Prospectul firmei Biraghi, 1989.
14. *** Werkzeugwechsel mit system. Prospectul firmei Mannesmann-Demag.
15. *** Spritzgiessrechnik. Prospectul firmei Klöckner Feromatik Desma.
16. *** Mehrfabenspritziessmaschinen. Prospectul firmei Klöckner Feromatik Desma.
17. *** RMP. Prospectul firmei MIR Plastics Division.
18. *** HMP. Prospectul firmei MIR Plastics Division.
19. *** Spritzgeissmaschinen. Prospectul firmei Husky.
20. *** Newsletter. Robpter. Prospectul firmei Husky, februar, 1982.
21. *** Vollelectrische Spritzgiessmaschinen. Prospectul firmei Cincinnati-Milacron.

Grupul RHÔNE-POULENC
este unul din liderii mondiali ai chimiei.
Principalele sale domenii sunt:
ȘTIINȚELE VIEȚII: PROTECȚIA PLANTELOR,
FARMACIE UMANĂ ȘI VETERINARĂ,
NUTRIȚIE ANIMALĂ,
INTERMEDIARI ORGANICI ȘI MINERALI,
SPECIALITĂȚI CHIMICE,
FIBRE ȘI POLIMERI.
În ROMÂNIA grupul RHÔNE-POULENC și-a propus:
* cunoașterea pieței românești, a cerințelor sale reale;
* colaborarea cu industria română.
Vreți să vă modernizați și
să vă rentabilitați întreprinderea ?
Vreți o producție la nivelul tehnicii de azi ?
Aveți nevoie de produse sigure, de calitate,
din partea unui partener de încredere ?
VĂ AȘTEPTĂM !

RHÔNE-POULENC

Birou RHÔNE-POULENC Str. Șipotul Fântânilor Nr. 8, sector 1, București
Standard: (40-1) 312.41.85 / 312.41.87 / 312.18.24 / 312.19.97 * Agro 312.19.96 fax 312.17.05
* Sănătate 312.18.48 fax 312.73.77 * Chimie / administrativ 312.09.07 fax 312.18.23 *
Telex 10637 RHONER